

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*

姚宏禄 吴乃薇 顾月兰 边文冀 王友亮

(江苏省淡水水产研究所,南京)

提 要

本文论述了主养青鱼高产池塘浮游植物初级生产力的测定结果,揭示了其垂直、季节变化及其与主要生态因子、鱼产量水平、鲢、鳙鱼产量的关系,分析了 D/B 、 P_G/R_w 、 N/P 的作用。研究查明: 1米以上水柱的光合产氧量占水柱总产氧量的90%以上。水柱日毛产氧量变动在5.00—17.04克氧/平方米·日之间,水柱年产氧量达2063—2814克氧/平方米·年。初级生产量全年只有一个高峰,常出现在7—8月。

主养青鱼型年净产鱼量7500、11250、15000公斤/公顷级池塘的浮游植物鲜重净产量分别为100674.4、118560、128197.6公斤/公顷·年,青鱼、草鱼并重型年净产鱼量15000公斤/公顷级池塘的浮游植物鲜重净产量为137323.2公斤/公顷·年。

4—11月,毛初级生产力对太阳辐射能的利用率为0.81—1.11%;鲢、鳙产量对浮游植物净产量的直接利用率为3.49—5.13%;太阳能转移为鱼产量的生态学效率为0.028—0.055%。

关键词 初级生产,初级生产力,高产鱼塘,主养青鱼,光合补偿深度

系统的研究养鱼水体的初级生产力,对于保护或改善水质、确定滤食性鱼类的放养、调整鱼的生物量等水生态系统的结构控制、环境控制都有理论和实际意义。因而引起国内外学者的重视。关于浮游植物生物量、初级生产力及其与生态因素、鱼产量的关系等的研究颇多。在江河、湖泊、水库方面,Winberg^[28,29]、Westlake^[27]、Jorgensen^[22]、Fee^[18,19]、Bindloss^[13]、Mur^[23]、Beijdorff^[13]、饶钦止^[8]、王骥^[2,3]、何志辉^[7]等人作了研究报道。在池塘养鱼方面松井魁^[11]、Hepher^[20,21]、Boyd^[14-15]、Almazan^[12]、Schroeder^[25]、Norieya-Curtis^[24]、王杏明^[1]、何志辉^[4-6]、姚宏禄^{[2][9]}、雷衍之^[10]等人作了研究报道。这些工作为研究浮游植物初级生产力积累了丰富资料。但关于我国综合养鱼高产池塘初级生产力分养殖类型、分产量级别的系统分析,尚未见报道。现将我们1982—1984年对主养青鱼型、青鱼、草鱼并重型及3个产量级别(7500、11250、15000公斤/公顷)的池塘养殖结构的初

* 本文承颜京松同志审阅,并提出宝贵意见。先后参加工作的有徐文学、朱洁民、葛士良、周伟峰、朱金龙、章剑、曹仁山、徐阿炳等同志,一并致谢。

1) 王杏明、王武,1981。精养鱼池水质测试报告。无锡水产资料,(3): 30—42。
2) 江苏省水产局淡水处,1980。池塘施肥养鱼的生态研究。江苏省水产学会交流资料,1987年12月21日收到。

级生产力连续观测结果作一分析总结,以期对高产养鱼池塘的初级生产力动态和养鱼技术管理方面提供有关理论依据。

工 作 方 法

针对主养青鱼型和青鱼、草鱼并重型的池塘养殖结构和单位面积产量级别等特点,于1982—1984年选用黑白瓶测氧法在11口次池塘的主要饲养期间(4—11月)进行了浮游植物初级生产力测定(表1)。

在鱼池中心处挂黑、白瓶。自水表面起至1.5m处每隔0.25米即挂一层,从1.5米以下,则每隔0.5米挂一层。这样,1.9—2.0米深的池塘共挂7层;2.5米深的池塘共挂8层;2.8—3.0米深的池塘共挂9层。表层黑、白瓶以全部浸没水中而不露出水面为准。底层黑、白瓶挂在离池底0.2米左右而不接触池底为准。

每月中旬选晴天进行黑、白瓶昼夜测定,另多云天、阴雨天进行比较观测。

每昼夜分5段挂瓶测定:06:00—10:00时、10:00—14:00时、14:00—18:00时、18:00—00:00时、00:00—06:00时。同时测定记录了水温、水色、透明度、水深、pH、 P_2O_5 、 NH_4-N 、 NO_2-N 、 NO_3-N 、 SiO_2 、天气、风力、风向等环境因子及浮游植物生物量。

溶氧分析采用温克勒碘量法。透明度用Secchi盘测量。营养盐类分析均采用一般通用的测定方法。浮游植物生物量按计算每升个数(或细胞数),再按体积法算得各类浮游植物的重量。太阳辐射量采用当地气象站资料。

初级生产量用氧单位表示(毫克氧/升、克氧/平方米)。

各挂瓶水层生产量的计算的方法为:白瓶与黑瓶之差称为总初级生产量或毛光合作用产氧量,白瓶与采水时的原初溶氧与黑瓶之差称为“水呼吸”耗氧量,以毛产氧的80%作为净产氧量(Winberg, G. G. 1972)。单位面积水柱生产氧量由各段水层的生产量计算得出。

计算分析中采用下列计量:1克鲢鲜肉相当于1.2千卡(王祖熊等,1964)^[1];1毫克氧=6.1毫克浮游植物鲜重或0.875毫克浮游植物干重(王骥等,1981)^[3];1毫克氧=3.51卡(Винберг, 1960)^[29];1毫克氧=0.3毫克碳(Винберг, 1960)^[29];1卡=4.182焦(J); 10^6 焦=1麦加焦(MJ); 10^9 焦=1吉加焦(GJ)。为了对比方便起见,本文个别地方仍采用了千卡(Kcal)计量。

结 果 与 讨 论

1. 初级生产量的垂直分布

从列举的8口塘次、不同月份不同天气的日初级生产量的垂直分布(表2)情况看出:池塘浮游植物的初级生产量(primary production)或光合作用产氧量依光照强度和浮游植物群落分布等的垂直差异,常呈显著的垂直变化。水深25厘米以上,即透明度1/2上下是浮游植物初级生产力的最高生产层。这一结论与王骥等(1981年)^[3]在东湖研究中得

表 1 鱼池基本情况
Tab. 1 General conditions of fish ponds

年份 Year	池名 Pond number	面积(公顷) Area (ha)	水深(米) Water depth (m)	毛产量 (公斤/公顷) Gross fish yield (kg/ha)	净产量 (公斤/公顷) Net fish yield (kg/ha)	其中鲢、鳙、白鲫占净产(%)比例 in the net fish yield (%)						
						鲢 Silver carp		鳙 Bighead carp		白鲫 Carassius cuvieri		合计 Total
				产量 (公斤/公顷) yield (kg/ha)	%		产量 (公斤/公顷) yield (kg/ha)	%		产量 (公斤/公顷) yield (kg/ha)	%	
1982	申庄 1-1 号①	0.43	1.9	10 074.0	8 268.0	1 374.0	16.6	523.5	6.3	217.5	2.6	25.5
	申庄边基②	0.60	2.6	12 922.5	10 533.0	1 918.5	18.2	357.0	3.4	778.5	7.4	29.0
1983	申庄西眼③	0.44	3.0	15 631.5	12 837.0	2 464.5	19.2	462.0	3.6	339.0	2.6	25.4
	申庄东眼④	0.47	2.5	12 754.5	10 654.5	1 864.5	17.5	525.0	4.9	595.5	5.6	28.0
1984	占上 1 号池⑤	0.60	2.8	14 677.5	12 166.5	1 609.5	13.2	637.5	5.2	423.0	3.5	21.9
	占上 14 号池⑥	0.61	2.9	14 919.0	12 283.5	1 603.5	13.1	616.5	5.0	603.0	4.9	23.0
	申庄西眼③	0.44	3.0	18 486.0	14 662.5	2 520.0	17.2	1 032.0	7.0	337.5	2.3	26.5
	申庄东眼④	0.96	2.5	17 500.5	13 807.5	2 530.5	18.3	748.5	5.4	483.0	3.5	27.2
	占上 1 号池⑤	0.60	2.8	18 733.5	15 178.5	2 763.0	18.2	1 035.0	6.8	474.0	3.1	28.1
	占上 9 号池⑦	0.77	2.9	19 534.5	15 666.0	2 860.5	18.3	1 021.5	6.5	682.5	4.3	29.1
	占上 14 号池⑥	0.61	2.9	19 051.5	15 292.5	2 604.0	17.0	1 087.5	7.1	576.0	3.8	27.9

① Pond 1-1, Shengzhuang, Suzhou; ② Bianji pond, Shengzhuang, Suzhou; ③ Xiyan pond, Shengzhuang, Suzhou; ④ Dongyan pond, Shengzhuang, Suzhou; ⑤ Pond 1, Zhanshang, Wu county, Suzhou; ⑥ Pond 14, Zhanshang, Wu county, Suzhou; ⑦ Pond 9, Zhanshang, Wu county, Suzhou

表 2 主养青鱼池塘初级生产力的垂直分布

Tab. 2 The vertical distribution of primary productivity in ponds with Black carp as the major cultured fish

池塘 Fish pond 日期 Date	申庄东眼池② 1984.5.26	占上14号池③ 1984.6.30	申庄东眼池② 1984.7.22	申庄1--1号池④ 1982.8.21	占上14号池③ 1984.9.14	申庄西眼池⑥ 1984.10.17	申庄边基池① 1983.11.14
天气 Weather	阴⑦	阴、多云到晴⑧	晴⑨	阴雨⑩	多云到晴⑩	阴到多云⑪	晴⑫
水温(°C) Water temperature	22	28	30	29	25	21	14
透明度(cm) Transparency	26	40	35	26	38	32	28
毛产氧量: Gross oxygen production mg/L. day %							
00—25cm	8.5	15.6	21.3	16.6	16.7	7.1	12.7
25—50cm	7.0	10.6	18.0	7.6	22.3	6.3	5.9
50—75cm	3.8	5.8	9.1	0.9	12.2	5.2	4.6
75—100cm	2.6	1.7	3.8	0.1	4.9	3.2	2.4
100—125cm	1.3	0.6	0.7	—	2.4	1.7	—
125—150cm	0.2	—	—	—	2.0	0.5	—
合计 Total	23.4	34.3	52.9	25.2	60.5	24.0	25.6
1米以上水柱产氧占总产氧量的% Gross O ₂ production of water column at depth between 0—100cm (% total production)	93.5	98.3	98.7	100.0	92.8	90.9	100.0

① Bianji pond, Shengzhuang, Suzhou; ② Dongyan pond, Shengzhuang, Suzhou; ③ Pond 14, Zhanshang, Wu county, Suzhou; ④ Pond 1—1, Shengzhuang, Suzhou; ⑤ Xiyan pond, Shengzhuang, Suzhou; ⑥ Overcast and rainy; ⑦ Overcast; ⑧ Overcast to clear; ⑨ Clear; ⑩ Cloudy to clear; ⑪ Overcast to cloudy

表3 主养青鱼池塘的毛产氧量、水呼吸耗氧量及补偿深度

Tab. 3 The gross oxygen production, "water respiration" and compensation in pond with Black carp as the major cultured fish

鱼池 Fish pond	日期 Date	天气 Weather	水温 Water temperature (°C)	透明度 (厘米) Transparency (cm)	补偿深度 (厘米) Compensation depth (cm)	水柱毛产氧量 (克/平方米·日) Gross oxygen production in water column (g/m ² ·day)	水柱呼吸耗氧量 (克/平方米·日) Oxygen consumption due to respiration in column (g/m ² ·day)	P _G /R _w
申庄1-1号①	1982. 8.21	阴	29	25	70	6.19	6.65	0.95
	8.29	多云	29	29	60-100	8.40		
	9.25	多云	24	24	90-125	10.34	4.99	2.07
申庄边基②	1983. 4.18	有雨	14	30	70	5.70	6.00	0.85
	5.18	晴	21	29	125-150	7.60	6.90	1.10
	6.18	有大	22	30	80-100	7.00	8.80	0.80
	7.20	晴	29	34	100-140	11.00	9.90	1.11
	9.22	晴	28	31	90-150	14.10	12.10	1.17
	10.23	晴	19	35	125-160	14.40	7.50	1.92
	11.14	晴	14	28	90-160	7.57	4.05	1.87
	1984. 4.24	晴	16	50		5.00	5.90	0.85
	5.28	多云	24	30	100-150	12.94	6.40	2.02
	6.26	晴	28	36	100-150	12.14	6.70	1.81
7.22	阴	30	30	120-140	17.04	7.95	2.14	
8.18	阴	29	30	140-100	12.42	3.42	3.63	
9.19	多云	25	35	120-160	10.21	6.60	1.55	
10.17	阴	21	32	75-110	5.80	4.85	1.20	
申庄东眼③	1984. 4.24	晴	16	35	100-120	6.30	8.30	0.78
	5.26	阴	22	25	80-120	7.60	5.65	1.35
	6.25	晴	28	25	70-100	9.70	9.18	1.06
	7.22	晴	30	35	85-130	13.40	9.10	1.47
	8.18	晴	29	25	75-140	13.90	7.70	1.81
	9.19	多云	25	30	70-120	9.30	10.70	0.87
	10.17	阴	21	31	75-140	6.90	7.90	0.87
	1984. 4.27	多云	18	46	80-90	5.80	5.60	1.04
	5.23	阴	22	45	80-120	9.46	5.88	1.61
	6.30	多云	28	40	80-150	10.10	7.15	1.41
7.18	多云	31	35	100-120	13.39	8.83	1.52	
8.24	晴	30	35	75-140	10.49	6.65	1.57	
9.14	阴	25	38	100-150	14.02	9.50	1.48	
10.14	晴	22	35	100-150	12.46	8.80	1.42	
11.16	晴	17	45	90-150	9.45	9.00	1.05	

① Pond 1-1, Shengzhuang, Suzhou.; ② Bianji pond, Shengzhuang, Suzhou; ③ Xiyan pond, Shengzhuang, Suzhou; ④ Dongyan pond, Shengzhuang, Suzhou; ⑤ Pond 14, Zhanshang, Wu county, Suzhou; ⑥ Overcast and rainy; ⑦ Overcast to cloudy; ⑧ Clear; ⑨ Clear to overcast; ⑩ Cloudy to clear; ⑪ Overcast; ⑫ Cloudy; ⑬ Cloudy to Overcast; ⑭ Overcast to clear; ⑮ Overcast to cloudy

表 4 主养青鱼池塘初级生产力的季节分布
Tab. 4 The seasonal distribution of primary productivity in pond with Black carp as the major cultured fish

年份 Year	鱼池 Fish pond	4--11 月合计 Total											
		4月 Ap.	5月 May	6月 June	7月 July	8月 Aug.	9月 Sep.	10月 Oc.	11月 Nov.	毛产氧量 (公斤/公顷) Oxygen production (kg/ha)	浮游植物 毛产量 (公斤/公顷) Phytoplankton gross production (kg/ha)	浮游植物 净产量 (公斤/公顷) Phytoplankton net production (kg/ha)	
1982	申庄 1-1 号 ^①	—	—	—	—	2 839.5	2 535.0	1 855.5	2 053.5	18 567.0	113 258.7	90 607.0	
1983	申庄边基 ^②	2 082.0	2 088.0	2 356.5	3 042.0	3 240.0	3 414.0	3 508.5	2 046.0	21 777.0	132 839.7	106 271.8	
	申庄西眼 ^③	2 013.0	2 451.0	1 591.5	3 522.0	4 033.5	3 417.0	3 663.0	1 669.5	22 360.5	136 399.1	109 119.3	
	申庄东眼 ^④	2 028.0	2 010.0	2 812.5	3 085.5	3 879.0	3 018.0	2 997.0	2 035.5	21 865.5	133 379.6	106 703.7	
1984	申庄西眼 ^⑤	1 485.0	3 366.0	2 892.0	4 611.0	3 454.5	3 322.5	2 629.5	1 500.0	23 260.5	141 889.1	113 511.3	
	申庄东眼 ^⑥	1 894.5	3 295.5	2 880.0	3 622.5	3 861.0	3 013.5	3 126.0	1 950.0	23 643.0	144 222.3	115 377.8	
	占上 1 号 ^⑦	—	—	—	—	—	3 714.0	2 628.0	—	—	—	—	
	占上 14 号 ^⑧	1 753.5	3 078.0	3 000.0	4 585.5	3 484.5	3 646.5	3 393.0	2 385.0	25 326.0	154 488.6	123 590.9	

① Pond 1-1, Shengzhuang, Suzhou; ② Bianji pond, Shengzhuang, Suzhou; ③ Xijan pond, Shengzhuang, Suzhou; ④ Dongyan pond, Shengzhuang, Suzhou; ⑤ Pond 1, Zhanshang, Wu county, Suzhou; ⑥ Pond 14, Zhanshang, Wu county, Suzhou

出的最高生产层出现在光照强度大约为 5 000—15 000 lx 之间的 1/2 透明度上下的水层的结果一致,与 Steemann-Nielsen (1954)^[3] 的研究得出最高生产层的光强度约为表层光强度的 1/2—1/3 的结论基本一致。还可看出:在主要饲养期间(4—11 月)的补偿深度依天气、水温、透明度等而显变化。在 10:00 时变动为 70—140 厘米,平均 105 厘米;在 14:00 时变动为 90—160 厘米,平均 135 厘米。1米以上水层的光合作用生产氧量占水柱总产氧量的 90.9—100%。

2. 水柱毛产氧量及“水呼吸”耗氧量

水柱浮游植物日平均毛产氧量通常大于“水呼吸”(包括水中微型自养、异养生物的呼吸耗氧,即含 BOD)耗氧量,即 P_G/R_w 之比 >1 ,主养青鱼不施肥的申庄西眼池,由于水呼吸耗氧较低,在 7 月里的晴天 P_G/R_w 之比甚至高达 3.63。而阴雨天和多云天,补偿深度变浅,水柱浮游植物营养生成层减缩,毛生产氧量降低。这时营养分解层扩大,“水呼吸”耗氧量常接近和超过光合作用毛产氧量, P_G/P_w 之比 <1 。同时可看出 P_G/R_w 之比依养殖结构类型不同,而有明显差异,主养青鱼池的变化幅度较大,如申庄西眼池为 0.85—3.63,东眼池为 0.78—1.81;而青、草鱼并重饲养池塘如占上 1 号池为 1.04—1.61,比较稳定。显然,这种差异与饲养管理方式和环境因子的差异有关。而且水柱毛产氧量

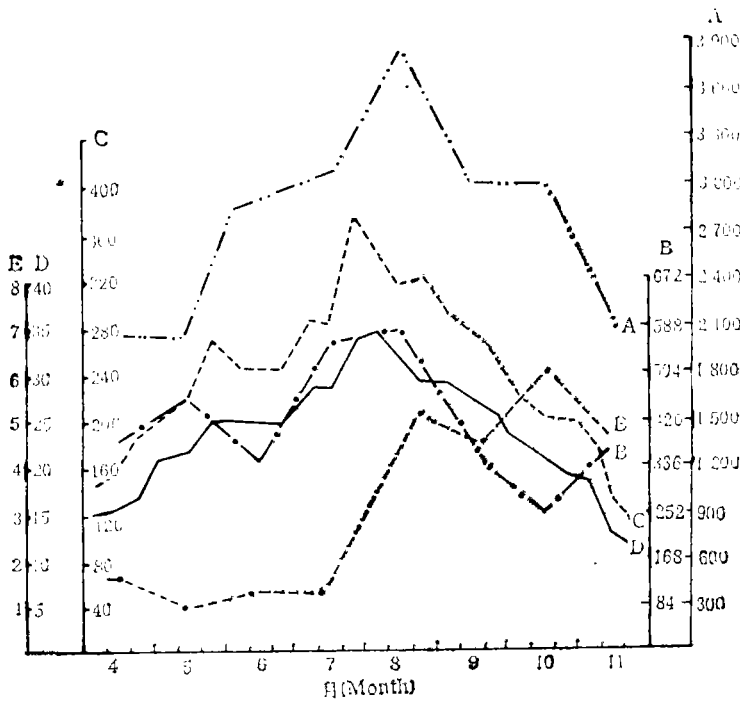


图 1 初级生产力与辐射能、水温、无机氮的季节分布曲线

Fig. 1 The seasonal distribution of radiation energy, water temperature and N with primary productivity

A 初级生产力(公斤氧/公顷·月) Primary productivity (kgO₂/ha·month); B 辐射能(MJ/平方米·月) Radiation energy (MJ/m²·month); C 水温旬积温(°C) Accumulative water temperature for 10-day (°C); D 平均水温(°C) Average water temperature (°C); E 无机氮(毫克/升) Inorganic nitrogen (mg/L)

和“水呼吸”耗氧量呈明显的季节变化。水柱毛初级生产量变动在 5.00—17.04 克氧/平方米·日之间；水柱“水呼吸”耗氧量变动在 3.42—12.10 克氧/平方米·日之间，高峰均出现在 7—9 月间(表 3)。

3. 初级生产量的季节分布及其与若干生态因素的关系

根据 3 年 11 口塘次挂黑、白瓶所测定的 20 121 个溶氧数据，计算出(月的初级生产量是按晴天、多云天、阴雨天的测定数据，分别乘以各类天气的天数后累计得出的) 8 个主养青鱼塘次的初级生产列于表 4。图 1 系申庄东眼池 1983 年主养青鱼初级生产力与辐射能、水温、无机氮的季节分布。由表 3、4 和图 1 看出：初级生产力的高低是养殖结构类型、单位面积鱼产量水平以及辐射能、水温、营养盐类、浮游植物丰度等综合作用所致。如主养青鱼型，产量水平分别为 7 500、11 250、15 000 公斤/公顷·年，无机氮总量分别为 2.24、1.7—1.95、2.42—2.46 毫克/升，N/P 之比分别为 487、445—567、121—307 的池塘，4—11 月浮游植物毛产氧量分别为 18 567 公斤、21 777—22 360.5 公斤、23 260.5—23 643 公斤氧/公顷；青鱼、草鱼并重型，产量水平为 15 000 公斤/公顷·年，无机氮总量为 4.08 毫克/升，N/P 之比为 102 的池塘 4—11 月毛产氧量为 25 326 公斤/公顷。

初级生产量全年只有 1 个高峰，常出现在 7、8 月份。这显然与夏季高的水温(30—32℃)和日照长度(200—250 日照小时/月)有关。苏州市水面接受的总辐射量可达 4 182—4 600.2 MJ/平方米·年。1983 年计，3—11 月的辐射量为 3 646.7 MJ/平方米。以东眼池为例，初级生产量(Y, 克氧/平方米·日)与辐射(X, 千卡/平方米·日)的关系为(图 2)：

$$Y = 5.5509e^{1.2998 \times 10^{-14} X}$$

$n = 9, r = 0.4617$, 相关系数 F 检验无显著差异。

初级生产量(Y, 克氧/平方米·日)与水温(X, °C)的关系(图 3)：

$$Y = 0.2527X + 3.2078$$

$n = 18, r = 0.8272$, 相关系数 F 检验有明显的显著性(>99%)差异。

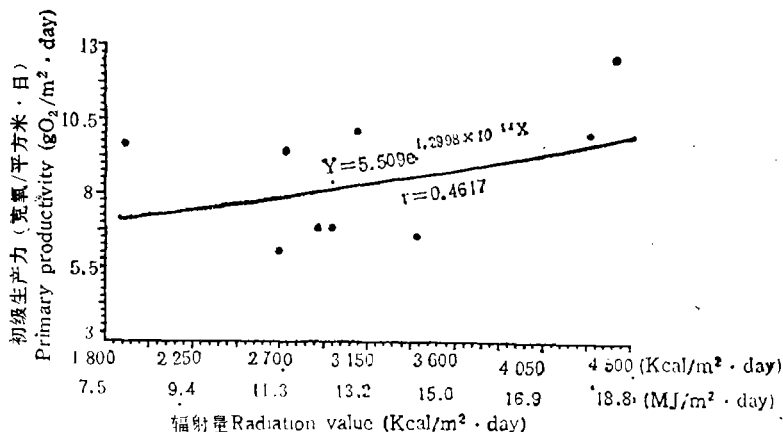


图 2 初级生产量季节变化与辐射量相关图

Fig. 2 The relationship between radiation energy and primary productivity

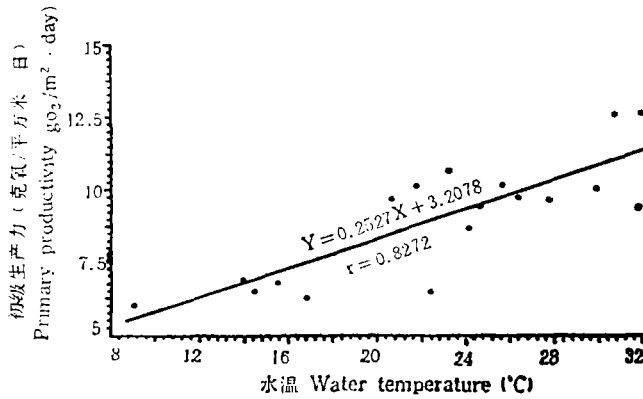


图3 初级生产量的季节变化与水温相关图

Fig. 3 The relationship between primary productivity and water temperature

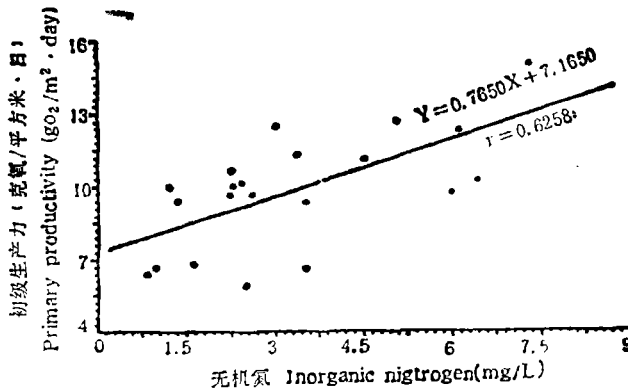


图4 初级生产量的季节变化与无机氮相关图

Fig. 4 The relationship between primary productivity of phytoplankton and inorganic nitrogen

初级生产量 (Y , 克氧/平方米·日)与无机氮(三氮含量, X , 毫克/升)的关系(图4):

$$Y = 0.7650X + 7.1650$$

$n = 21$, $r = 0.6258$, 相关系数 F 检验有明显的显著性 ($>99\%$) 差异。

主养青鱼高产池塘磷的含量为 0.003—0.04 毫克/升; 而三氮总量为 1.7—5.52 毫克/升(其中主养青鱼型 1.7—2.8 毫克/升; 青鱼、草鱼并重型为 4.08—5.52 毫克/升), N/P 之比为 102—722。依朱树屏 (1949)^[17] 的研究, 氮的浓度在 0.26—1.3 毫克/升以下、磷在 0.018—0.098 毫克/升以下, 都将成为藻类的限制因子。各试验池中 N/P 之比对初级生产力水平的影响显得突出, 如占上 14 号池 1984 年 4—11 月浮游植物毛产氧量最高, 达 25 326 公斤/公顷, 其含磷量也最高, 为 0.04 毫克/升, N/P 之比最低, 为 102。可见无机磷是 高产养鱼池塘初级生产力 (Primary productivity) 的主要限制因子。

浮游植物及其丰度是 高产养鱼池塘光合作用的物质基础, 其生产量与生物量之间的比值, 即 P/B 系数是掌握初级生产力变动情况的重要指标。表 5 列举了 1983—1984 年

表 5 主养青鱼型、青鱼草鱼并重型高产池塘单位水面下浮游植物的日 P/B 系数

Tab. 5 The daily P/B ratios in phytoplankton in the high output ponds with Black carp and Grass carp as the major cultured fishes

池塘与日期 Pond and date	单位水面下的 P/B 系数 The daily P/B ratio	池塘与日期 Pond and date	单位水面下的 P/B 系数 The daily P/B ratio
申庄东眼 Dongyan pond, Shengzhuang, 1983 4 月 Ap.	0.51	申庄东眼 Dongyan pond, Shengzhuang, 1984 7 月 July	1.15
5 月 May	1.04	8 月 Aug.	1.38
6 月 June	1.27	9 月 Sep.	0.73
7 月 July	1.03	占上 14 号 Pond 14, Zhanshang, 1984 4 月 Ap.	0.71
8 月 Aug.	3.68	5 月 May	4.08
9 月 Sep.	1.53	6 月 June	4.00
10 月 Oc.	1.77	7 月 July	4.42
11 月 Nov.	0.80	8 月 Aug.	1.66
1984 4 月 Ap.	0.33	9 月 Sep.	1.23
5 月 May	1.87	10 月 Oc.	1.36
6 月 June	3.44		

间主养青鱼型、青鱼和草鱼并重型池塘单位水面下浮游植物的日 P/B 系数, 4—8 月逐渐升高, 即随光照、水温和营养盐等的上升而升高; 9 月以后逐渐下降, 这时营养盐类现存量虽高, 却因水温、光照的下降而下降。

浮游植物的生产量 (Y , 克氧/平方米·日) 与其生物量 (X , 毫克/升) 的关系(图 5):

$$Y = 11.5842e^{-5.7850 \times 10^{-3} X}$$

$n = 21$, $r = 0.5311$, 相关系数 F 检验有显著性(95%)差异。

4. 初级生产量及其与鲢、鳙鱼产量的关系

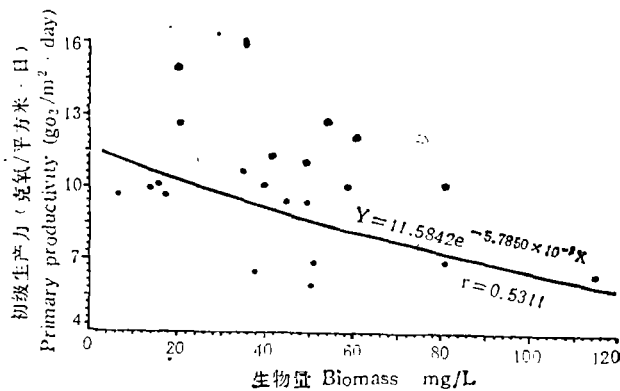


图 5 浮游植物的生产量与其生物量的相关图

Fig. 5 The relationship between primary productivity and biomass of phytoplankton

表 6 主养青鱼池塘的年初级生产量
Tab. 6 The annual primary production by phytoplankton in pond with Black carp as the major cultured fish

养殖类型 The type of polycultural system	池塘 Fish pond	年毛生产氧量 The gross oxygen production		合碳量 The gross carbon production		合浮游植物鲜重量 The fresh weight of phytoplankton		合能量 Energy	
		公斤/平方米·年 (kg/m ² ·year)	公斤/公顷·年 (kg/ha·year)	公斤/平方米·年 (kg/m ² ·year)	公斤/公顷·年 (kg/ha·year)	公斤/平方米·年 (kg/m ² ·year)	公斤/公顷·年 (kg/ha·year)	MJ/平方米·年 (MJ/m ² ·year)	GJ/公顷·年 (GJ/ha·year)
		公斤/平方米·年 (kg/m ² ·year)	公斤/公顷·年 (kg/ha·year)	公斤/平方米·年 (kg/m ² ·year)	公斤/公顷·年 (kg/ha·year)	公斤/平方米·年 (kg/m ² ·year)	公斤/公顷·年 (kg/ha·year)	MJ/平方米·年 (MJ/m ² ·year)	GJ/公顷·年 (GJ/ha·year)
主养青鱼型①: 7 500kg/ha·yr	申庄 1-1 号③ (1982)	2.0630	20 630	0.6189	6 189	12.5843	125 843	30.2824	302.824
		2.4197	24 197	0.7259	7 259	14.7602	147 602	35.5183	355.183
		2.4845	24 845	0.7454	7 454	15.1555	151 555	36.4695	364.695
11 250kg/ha·yr	申庄 东眼④ (1983)	2.4295	24 295	0.7289	7 289	14.8200	148 200	35.6622	356.662
		2.5845	25 845	0.7754	7 754	15.7655	157 655	37.9374	379.374
		2.6270	26 270	0.7881	7 881	16.0247	160 247	38.5613	385.613
青、草鱼并重型②: 15 000kg/ha·yr	占上 14 号⑦ (1984)	2.8140	28 140	0.8442	8 442	17.1654	171 654	41.3062	413.062

① Black carp as major cultured fish; ② Black carp and Grass carp as major cultured fishes; ③ Pond 1-1, Shengzhuang, Suzhou; ④ Bianji pond, Shengzhuang, Suzhou; ⑤ Xiyan pond, Shengzhuang, Suzhou; ⑥ Dongyan pond, Shengzhuang, Suzhou; ⑦ Pond 14, Zhanshang, Wu county, Suzhou

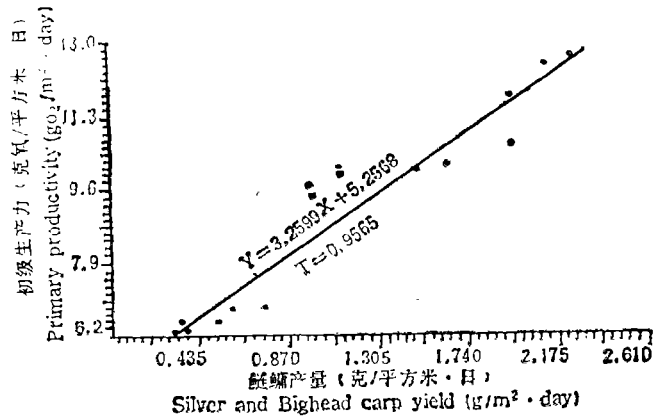


图6 初级生产量与鲢鳙产量相关图

Fig. 6 The relationship between primary productivity and silver and bighead carp yield

4—11月的初级生产量常占全年初级生产总量的90%。由此按表4数据计算出两种养殖类型、三种鱼产量级别的7个塘次的单位面积年毛初级生产氧量以及换算成碳量、浮游植物湿重量、能量数据列于表6。从表中提供的初级生产量数据,具体地分析其中东眼池连续两年主养青鱼,搭配放养1龄(仔口)鲢、鳙鱼种的生长、产量情况,得出初级生产量(Y,克氧/平方米·日)与鲢、鳙鱼产量(X,克/平方米·日)的关系亦呈正相关(图6):

$$Y = 3.2599X + 5.2568$$

$n = 16, r = 0.9565$, 相关系数 t 检验差别非常显著 ($P = 0.001$)。

按照浮游植物净产量减去浮游植物自然死亡数、浮游动物摄食量及其它鱼摄食量,尚有一半可作鲢、鳙的鲜饵料,饵料系数如按20(何志辉,1983)^[5]则7500公斤/公顷级池申庄1-1号(1982)浮游植物鲜重净产100674.4公斤/公顷,可供净产鲢、鳙2516.86公斤(实产1897.5公斤);11250公斤/公顷级池申庄东眼(1983)浮游植物鲜重净产118560公斤/公顷,可供净产鲢、鳙2964公斤(实产2386.5公斤);15000公斤/公顷级池申庄东眼(1984)浮游植物鲜重净产128197.6公斤/公顷,可供净产鲢、鳙3204.94公斤(实产3548.25公斤);青鱼、草鱼并重饲养15000公斤/公顷级池占上14号(1984)浮游植物鲜重净产137323.2公斤/公顷,可供净产鲢、鳙3433.1公斤(实产3690.75公斤)。在7500、11250公斤/公顷级池塘里估计量大于实际量,应是鲢、鳙放养数量不足(1-1号池放养1龄仔口鱼种为3300尾/公顷;东眼池放养4875尾/公顷)。可分别调整为3750尾/公顷、5250尾/公顷。在15000公斤/公顷级池塘里估计量小于实际量,应归之于细菌、有机碎屑、浮游动物等饵料资源的增加所致。若主养青鱼的15000公斤/公顷池内浮游植物净产量可供产鲢、鳙鱼3000公斤左右,加上碎屑、浮游动物,应可产鲢、鳙、白鲫等3750—4500公斤。

5. 初级生产力在能量转换中的生态学效率

苏州地区每年到达水面的总辐射量大约每平方米达4182—4600.2MJ(100—110万千卡),其中4—11月约3345.6MJ(80万千卡)。现列举主养青鱼高产池塘4—11月浮游植物初级生产量及鲢、鳙鱼产量,换算成能量值,计算出各项能量转换效率(表7)。由表

表7 4—11月主养青鱼池塘浮游植物初级生产力在能量转换中的生态学效率

Tab. 7 Ecological efficiencies in ponds with black carp as the major cultured fish during April-November

鱼池 Fish pond	毛产氧量 The gross oxygen production (克/平方米) (g/m ²)	合能量 Energy (MJ/平方米) (MJ/m ²)	初级生产力对总辐 射能的利用率 Primary production/solar radiation %	鱼类对初级生产力 的利用率 Fish yield /primary production %	太阳能转移为鱼产 量的生态效率 Fish yield/solar radiation %
申庄1-1号(1982)①	1 856.7	27.2542	0.81	3.49	0.028
申庄东眼(1983)②	2 186.6	32.0967	0.96	3.73	0.036
申庄东眼(1984)②	2 364.3	34.7051	1.04	5.13	0.053
占上14号(1984)③	2 532.6	37.1756	1.11	4.98	0.055

① Pond 1-1. Shengzhuang, Suzhou; ② Dongyan pond, Shengzhuang, Suzhou; ③ Pond 14, Zhanshang, Wu county, Suzhou

7 看出,毛初级生产力对太阳辐射能的利用率为 0.81—1.11%, 这比王骥等(1981)^[31]所报道的东湖高 2 倍,而与我国某些超富营养型湖及 Sreenivasan (1972)^[26] 所报道的某些热带湖泊、水库中的利用率相当。鲢、鳙产量对浮游植物净产量的利用率为 3.49—5.13%, 太阳能转移为鱼产量的生产效率为 0.028—0.055%, 分别比王骥等报道的东湖高 5 倍、10 倍以上;比我国一般湖泊水库及某些热带湖泊水库高得更多。

参 考 文 献

- [1] 王祖熊、孙美娟、高汉蛟、朱蓝菲、赵明蓓,1964。池养白鲢生殖周期中卵巢生化组成变化的研究。水生生物学集刊,5(1): 103—114。
- [2] 王 骥、梁彦龄,1981。用浮游植物的生产量估算武昌湖鲢鳙生产潜力与鱼种放养量的探讨。水产学报,5(4): 343—350。
- [3] 王 骥、沈国华,1981。武汉东湖浮游植物的初级生产力及其若干生态因素的关系。水生生物学集刊,7(3): 295—311。
- [4] 何志辉,1979。淡水浮游生物的生物量。动物学杂志,(4): 53—56。
- [5] 何志辉、李永函,1983。无锡市河埭口高产鱼池水质研究(II. 浮游生物)。水产学报,7(4): 287—299。
- [6] 何志辉,1985。从“看水”经验论养鱼水质的生物指标。水生生物学报,9(1): 89—98。
- [7] 何志辉,1987。中国湖泊水库的初级生产力及其能量转化效率。水产科学,(1): 24—30。
- [8] 饶钦止、章宗涉,1980。武汉东湖浮游植物的演变(1956—1975)和富营养化问题。水生生物学集刊,7(1): 1—17。
- [9] 姚宏禄、吴乃薇、顾月兰、边文冀、徐文学、朱洁民,1987。池塘主养青鱼的生态因子与综合技术的研究。水产养殖,(2): 1—7。
- [10] 雷衍之、于淑敏、徐 捷,1983。无锡市河埭口高产鱼池水质研究(I. 水化学和初级生产力)。水产学报,7(3): 185—199。
- [11] 刘海金、张世义译(松井魁等著),1978。鳊鱼生物学和人工养殖。83—106页。科学出版社。
- [12] Almazan, C. and Boyd, C. B., 1978. Plankton production and Tilapia yield in pond. *Aquaculture*, 15: 75—77。
- [13] Bindloss, M. E., 1976. The light-climate of Loch Leven, a shallow Scottish lake, in relation to primary production by phytoplankton. *Freshwater Biology*, 6: 501—518。
- [14] Boyd, C. E., 1973. Summer algal communities and primary productivity in fish ponds. *Hydrobiologia*, 41: 357—390。
- [15] Boyd, C. E., 1979. Water Quality in warmwater Fish Ponds. Auburn University Agricultural Experiment Station, Auburn, Alabama, pp. 49—70。
- [16] Boyd, C. E., 1982. Water Quality Management for pond Fish Culture. pp. 78—83, pp. 159—162. Elsevier Scientific Publishing company。
- [17] Chu, S. P. (朱树屏), 1949. Experimental studies on the environmental factors influencing the growth of phy-

- toplankton. *Sci. Techn. China*, 2: 37—52.
- [18] Fee, E. J., 1973. A numerical model for determining integral primary production and its application to lake Michigan, *J. Fish. Res. Bd. Canada*, 30: 1447—1486.
- [19] Fee, E. J., 1975. The importance of diurnal variation of photosynthesis vs. light curves of estimates of integral primary production. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 19: 39—46.
- [20] Hefher, B., 1962. Primary production in fish ponds and its application to fertilization experiments. *Limnol. Oceanogr.*, 7: 131—135.
- [21] Hefher, B. and Pruginin, Y., 1981. Commercial fish Farming. A Wiley-Interscience Publication. pp. 162—165. New York.
- [22] Jorgensen, S. E., 1983. Application of Ecological Modelling in Environmental Management Part A. Elsevier Scientific Publication. pp. 138—144. New York.
- [23] Mur, L. R. and Beigdorff, R. O., 1978. A model of the succession from green to blue—green algae based on light limitation. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 20: 2314—2321.
- [24] Norieya—Curtis, P., 1979. Primary productivity in manured fish ponds. *Aquaculture*, 17: 335—344.
- [25] Schroeder, G. L., 1978. Autotrophic and heterotrophic production of microorganisms in intensely—manured fish ponds, and related fish yield. *Aquaculture*, (14): 303—325.
- [26] Sreenivasan, A., 1972. Energy transformations through primary productivity and fish production in some tropical freshwater impoundments and ponds, In “Productivity problems of freshwaters”. pp. 505—514. Warszawa—Krakow.
- [27] Westlake, D. F., 1980. Primary production, In “The functioning of freshwater ecosystems (International Biological Programme 22)”, pp. 141—246. Cambridge University Press, Cambridge.
- [28] Winberg, G. G., 1972. Some interim results of Soviet IBP investigations on lake. In “Productivity problems of freshwaters”. pp. 363—381. Warszawa—Krakow.
- [29] Винберг, Г. Г., 1960. Первичная продукция водоемов. Минск.

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

Yao Honglu Wu Naiwei Gu Yuelan Bian Wenji and Wang Youliang

(Jiangsu Provincial Freshwater Fisheries Research Institute, Nanjing)

Abstract

The primary production by phytoplankton was determined during 1982—1984 for fish ponds with the black carp as the major species for culture. Investigations were made on the vertical and seasonal changes in primary production in relation to major ecological factors, overall fish yield and yields from the silver carp and big-head. During the growing season (April—November), the depth for photosynthetic compensation varied from 70—140 cm (mean: 105 cm) at 10:00 and from 90—160 cm (mean: 135 cm) at 14:00. O_2 production from the water column in the upper 1 m accounted for over 90% of the total production. The mean daily O_2 production ranged from 5.00—17.04 mg $O_2 m^{-2} \cdot day^{-1}$. The daily gross oxygen production usually exceeded oxygen respiration. The annual oxygen production was 2063—2814 g $O_2 \cdot m^{-2} \cdot year^{-1}$.

Monthly primary production showed only one peak which usually occurred in July -August. The relationship between primary productivity ($Y, \text{gO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$) and solar radiation ($X, \text{Kcal} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$) was:

$$Y = 5.5509e^{1.2998 \times 10^{-14} X}$$

The relationship between primary productivity ($Y, \text{gO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$) and temperature ($X, ^\circ\text{C}$) was:

$$Y = 0.2527X + 3.2078$$

The relationship between primary productivity ($Y, \text{gO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$) and concentration of inorganic nitrogen ($X, \text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$) was.

$$Y = 0.7650X + 7.1650$$

The average phosphorus concentration was $0.01 \text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ and the N/P ratio ranged from 102—722, indicating that phosphorus was the limiting factor for primary production.

The relationship between production ($Y, \text{gO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$) and biomass ($X, \text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$) in phytoplankton was:

$$Y = 11.5842e^{-5.7850 \times 10^{-3} X}$$

Net phytoplankton production in wet weight was 100674.4, 118560, and 128197.6 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{year}^{-1}$ respectively in black carp ponds with net fish yields of 7500, 11250 and 15000 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{year}^{-1}$. In ponds with both black carp and grass as carp the major species for culture and with a yield of 1500 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{year}^{-1}$, the net phytoplankton production in wet weight was 137323.2 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{year}^{-1}$. Primary productivity ($Y, \text{gO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$) increased with increased yield from silver carp and big-head ($X, \text{g fish m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$) in the form: $Y = 3.2599X + 5.2568$.

During the growing season (April-November), the efficiency of converting solar radiation to gross primary production ranged from 0.81—1.11%. The efficiency of converting net phytoplankton production to yield of silver carp and big-head ranged from 3.49—5.13% the ecological efficiency of converting solar radiation to fish yield was 0.028—0.055%.

Key words Primary production, Primary productivity, High output fish pond, With Black carp as major cultured fish, Depth of photosynthetic compensation