

无锡市河埭口高产鱼池水质研究*

I. 水化学和初级生产力

雷衍之 于淑敏 徐捷

(大连水产学院)

提 要

本文总结了1977年5—8月对无锡河埭口高产池塘水化学研究的成果。该地区高产池主要离子含量适中, pH稳定。有效氮含量平均1.38毫克/升, 其中铵氮占61%, 亚硝酸氮占14%, 硝酸氮占25%。溶解活性磷(P_2O_5)平均为0.028毫克/升。N/P为61—139。COD_{Mn}为13.8毫克/升。磷是初级生产力的限制因素。

经初步分析表明: 池水中溶解有机物与悬浮有机物约各占一半, 而有机碎屑占有机悬浮物的2/3到4/5。平均补偿深度77—80厘米, 为平均透明度的2.4倍。5—8月间平均水柱日初级毛生产量为9.41—10.09克氧/米²·日。池水氧气的消耗, 池鱼约占20%, “水呼吸”约占70%, 底质约占10%。氧气来源约60%靠光合作用, 40%靠空气溶解。

无锡地区是我国著名的池塘养鱼高产区之一。当地渔民积累了丰富的稳产高产经验。对该地区高产池塘水化学状况的研究, 有助于我国池塘养鱼的高产经验的总结和提高。为此, 我们于1977年5月至8月, 对无锡市郊区河埭公社部分代表性鱼池进行了定期的水化学和初级生产力的观测。

表1: 鱼池基本情况

池名	面积 (亩)	水深 (米)	亩毛产量 (斤/亩)	亩净产量(斤/亩)				备注	
				鲢鱼、鳊鱼	非洲鲫鱼	其它	合计		
重测 点池	大池	10	≈2	1542	495	113	525	1133	
	双元池	7	1.5~2	1841	564	134	615	1313	
	小方池	3.8	≈2	2022	455	180	761	1396	
	大庆池	7.2	2.5~3.0	2133	619	311	1333	2263	
一般 观测 池	必养池	9.5		2461	680	265	847	1792	
	老边池	9.5		2006	499	159	706	1364	
	靠浜池	9.4		1626	459	122	611	1192	
	玉山池	11.7		1624	406	174	597	1177	
	五里湖15	15.7		541	156	61	231	443	
	五里湖19	15.7		611	188	61	242	491	
五里湖21	15.7							数据不全	

* 这项研究工作得到何志辉副教授的热情指导。参加现场工作的还有朱雅珠、顾道良、庄龙杰、胡秀敏等同志。在此一并致谢。

系统观测的几个鱼池的基本状况见表1。其中河埭大队的4个高产池为重点观测对象,一般每周进行一次水化学和初级生产力测定,非重点观测池,则每半月进行一次。7个非重点鱼池中4个也是河埭大队的高产池,另三个是五里湖养鱼场作对照的低产池,其施肥投饵量都显著较8个高产池为低。在8个高产池中,大庆池是当地亩产(毛)3133斤的科研试验池,小方池、必春池和老边池是生产队的亩产(毛)2000斤的试验池,其余4个池是一般成鱼生产池。

水 化 学

(一) 工 作 方 法

重点池和非重点池均在池中心固定一个点取样,一般取中层水样。有时在表层(0.2米)和底层(离底0.2—0.3米)分别取样进行测定,取其算术平均值作为池水中的含量。

观测的项目及方法:

溶解氧采用迭氮化钠碘量法;pH值采用电测法,用PHS-29A型酸度计测定;溶解性磷酸盐,采用钼蓝光电比色法,水样经G4耐酸漏斗(孔径4—5微米)抽滤处理;铵氮,采用奈氏试剂光电比色法,水样经硫酸锌、氢氧化钠净化处理,取清液测定;硝酸盐氮,采用酚二磺酸光电比色法,因水中含 Cl^- 较低,未作除 Cl^- 处理;亚硝酸盐氮,采用 α 萘胺、对氨基苯磺酸光电比色法;耗氧量,采用酸式高锰酸钾法,一般测定摇匀的原水样,也对照测定过部分经G4耐酸漏斗抽滤的水样,测定时采用半微量滴定法,即:使用50毫升三角烧瓶及微量滴定管,水样及试剂的用量均改为常量法的五分之一,煮沸仍为10分钟。

以上项目每次取样均作测定。另在试验期间对鱼池的水源(梁溪河)及部分鱼池的下列项目作过1—2次测定:氯离子、总碱度、总硬度、钙离子、硫酸根离子等。除上述已经说明者外,各项目均采用一般通用的测定方法^[1]。比色分析采用72型分光光度计。

(二) 结 果 与 讨 论

1. 主要离子和总含盐量

该地区鱼池的水源,是从太湖流出的梁溪河河水。从表2可见:梁溪河水的含盐量在0.15克/升左右,鱼池的含盐量则为0.28~0.35克/升,平均约为0.30克/升。增加最多的是碳酸氢根离子和钙离子。

池水中的阴离子以 HCO_3^- 最多(2.50—3.18,平均为2.84毫克当量/升),平均约占阴离子总量的70%。其次是 Cl^- ,约为0.6—0.8毫克当量/升,再次是 SO_4^{2-} ,约为0.22—0.91毫克当量/升。

阳离子中则以 Ca^{++} 最多(2.09—2.90,平均为2.47毫克当量/升),占阳离子总量的60%,其次是钠(钾)。以镁离子最少。

池水的总硬度(3毫克当量/升左右)和碱度(约2.8毫克当量/升)都比较高,因此具有较好的缓冲性,这对养鱼是很有利的。

表 2: 部分鱼池的主要离子含量

池名		梁溪河		大池		小方池		双元池	大庆池	靠浜池	鱼池平均
测定日期		77.5.19	77.6.30	77.5.19	77.6.30	5.19	6.30	6.30	6.30	5.19	
Cl ⁻	毫当量/升	0.58	0.42	0.78	0.68	0.61	0.60	0.60	0.78	0.74	0.68
	毫克/升	20.5	14.8	27.8	24.0	21.5	21.4	21.4	27.5	26.2	24.1
HCO ₃ ⁻	毫当量/升	1.36	1.15	2.63	2.50	2.97	3.18	2.65	3.09	2.85	2.84
	毫克/升	83.0	70.2	160	153	181	194	162	189	174	173
SO ₄ ²⁻	毫当量/升	0.22	0.46		0.49	0.76	0.91	0.52	0.58	0.22	0.51
	毫克/升	10.6	22		24	36.5	44	25	28	10.6	24
Ca ²⁺	毫当量/升	1.23	1.05	2.09	2.20	2.90	2.81	2.30	2.75	2.27	2.47
	毫克/升	24.6	21.0	41.9	44.1	58.1	56.3	46.1	55.1	45.5	49.6
Mg ²⁺	毫当量/升	0.59	0.48	0.62	0.39	0.66	0.62	0.50	0.67	0.65	0.59
	毫克/升	7.2	5.8	7.5	4.7	8.0	7.5	6.1	8.1	7.9	7.1
K ⁺ + Na ⁺	毫当量/升	0.34	0.50		1.08	0.78	1.26	0.97	1.03	0.89	0.97
	毫克/升	8.5	12.5		27.0	19.5	31.5	24.2	25.8	22.2	24.3
总硬度	毫当量/升	1.82	1.53	2.71	2.59	3.56	3.43	2.80	3.42	2.92	3.06
	度	5.1°	4.3°	7.6°	7.3°	10.0°	9.6°	7.8°	9.6°	8.2°	8.6°
总含盐量	毫当量/升	4.28	4.06		7.34	8.68	9.38	7.54	8.90	7.64	8.07
	毫克/升	154	146		277	325	354	284	334	287	303

注: 1. 均不含 CO₃²⁻。

2. 钾与钠的含量和是用阴离子总量减 Ca²⁺、Mg²⁺ 含量计算而得的, 平均当量用 25。

3. 总含盐量是将主要离子含量相加得出的。

按阿列金分类法, 除了梁溪河的一次数据属于 III 型外, 其余各次均属于碳酸类钙组 II 型水。符合一般淡水的化学状况。

2. 氮磷营养元素

从表 3 可见: 在三种无机态氮中都是以铵态氮最多。四个重点观测的高产池, 三种无机氮总量的平均值为 1.38 ± 0.42 毫克/升, 其中铵态氮为 0.84 ± 0.19 毫克/升, 占 61%; 硝酸氮占 25%, 亚硝酸氮占 14%。三个低产池的三种无机氮的平均值为 0.21 ± 0.01 毫克/升, 仅为八个高产池平均值的 17%。其中铵氮占三种无机氮总量的 75%, 其次为硝酸氮, 约占 25%, 亚硝酸氮最少, 仅占千分之一、二。

水中可溶性磷酸盐含量普遍较低, 8 个高产池各自的磷酸盐 (P₂O₅, 下同) 含量的平均值比较接近, 最低的池子是 0.018 毫克/升, 最高值为 0.036 毫克/升, 8 个鱼池的平均值为 0.028 ± 0.0058 毫克/升。3 个低产池的磷酸盐含量则更低, 平均为 0.012 ± 0.002 毫克/升, 只有高产池的平均值的 43%。

各池氮磷比值(指三种无机氮总和同溶解性磷酸盐磷的比值) 都很大。3 个低产池为 36—51; 平均为 42。8 个高产池的比值更大, 为 61—139, 平均为 104 ± 22 。在淡水藻类平均组成中, 氮磷比值约为 7, 可见这些鱼池水中氮素营养是偏多的, 磷则偏少。磷很可能是这些池塘初级生产力的限制因素, 关于这点后面还将讨论。

当地渔民没有施用化肥的习惯, 池水中无机氮含量平均能保持这样高的水平, 一方面

表 3: 营养盐含量*

池 别	铵 态 氮 (N, 毫克/升)	亚 硝 酸 氮 (N, 毫克/升)	硝 酸 氮 (N, 毫克/升)	磷 酸 盐 (P ₂ O ₅ , 毫克/升)	三 氮 台 计	N/P	
重 点 观 测	双元池	0.17 ⁽¹⁹⁾ _{0.79} 1.35	0.024 ⁽¹⁶⁾ _{0.18} 0.29	0.013 ⁽¹⁵⁾ _{0.11} 0.18	0.003 ⁽¹⁹⁾ _{0.025} 0.085	1.08	99
	小方池	0.24 ⁽¹⁶⁾ _{1.13} 1.99	0.034 ⁽¹²⁾ _{0.16} 0.34	0.015 ⁽¹¹⁾ _{0.12} 0.24	0.004 ⁽¹⁶⁾ _{0.080} 0.17	1.40	107
	大池	0.22 ⁽¹⁷⁾ _{0.59} 1.22	0.047 ⁽¹²⁾ _{0.20} 0.68	0.009 ⁽¹¹⁾ _{0.18} 0.42	0.008 ⁽¹⁸⁾ _{0.021} 0.032	0.97	106
	大庆池	0.10 ⁽¹¹⁾ _{0.85} 1.66	0.081 ⁽¹¹⁾ _{0.27} 0.56	0.003 ⁽¹⁰⁾ _{0.94} 1.50	0.011 ⁽¹¹⁾ _{0.034} 0.089	2.06	139
	四池平均**	0.84 ± 0.19	0.30 ± 0.04	0.34 ± 0.35	0.028 ± 0.005	1.38 ± 0.42	
非 重 点 观 测	靠浜池	0.26 ⁽⁶⁾ _{0.61} 1.11	0.041 ⁽⁶⁾ _{0.13} 0.38	0.12 ⁽³⁾ _{0.28} 0.39	0.011 ⁽⁶⁾ _{0.018} 0.024	0.98	125
	老边池	0.12 ⁽⁵⁾ _{0.61} 1.26	0.072 ⁽⁵⁾ _{0.25} 0.61	0.035 ⁽⁴⁾ _{0.19} 0.34	0.014 ⁽⁵⁾ _{0.028} 0.046	1.05	86
	必香池	0.57 ⁽⁵⁾ _{1.03} 1.47	0.073 ⁽⁵⁾ _{0.15} 0.25	0.083 ⁽³⁾ _{0.21} 0.37	0.016 ⁽⁵⁾ _{0.030} 0.053	1.39	106
	玉山池	0.16 ⁽⁴⁾ _{0.50} 0.87	0.036 ⁽⁴⁾ _{0.32} 0.62	0.10 ⁽³⁾ _{0.13} 0.17	0.011 ⁽⁴⁾ _{0.036} 0.068	0.95	61
	四池平均	0.68 ± 0.21	0.21 ± 0.077	0.20 ± 0.054	0.028 ± 0.0065	1.09 ± 0.18 8池平均 1.24 ± 0.35	8池平均 104 ± 22
低 产 池	五里湖15	0.10 ⁽⁵⁾ _{0.16} 0.20	0 ⁽⁵⁾ _{0.0003} 0.0018	0.050 ⁽⁵⁾ _{0.064} 0.090	0.004 ⁽⁵⁾ _{0.013} 0.020	0.22	39
	五里湖19	0.094 ⁽⁵⁾ _{0.17} 0.23	0 ⁽⁵⁾ _{0.0005} 0.0025	0.041 ⁽⁵⁾ _{0.052} 0.065	0 ⁽⁵⁾ _{0.014} 0.032	0.22	36
	五里湖21	0.037 ⁽⁵⁾ _{0.15} 0.31	0 ⁽⁵⁾ _{0.0003} 0.0017	0.038 ⁽⁵⁾ _{0.047} 0.064	0.004 ⁽⁵⁾ _{0.009} 0.014	0.20	51
	三池平均	0.16 ± 0.008	0.0004 ± 9 × 10 ⁻⁵	0.054 ± 0.0071	0.012 ± 0.0022	0.21 ± 0.01	42 ± 6.5

* 在横线的两端示数据变动范围,下部为算术平均值,上部括号内是数据个数。
** 系各池平均值的算术平均值和标准差。

是由于使用了大量的含丰富动物性蛋白质的饵料(螺、蚬)、蚕蛹水及粪肥、另一方面是来自鱼和浮游动物的排泄。但是,将亚硝酸根含量同硝酸根含量的平均值加以比较,可以看出除了大庆池的硝酸氮远多于亚硝酸氮,并略多于铵氮外,其余各池两者含量都比较接近,甚至是亚硝酸氮多于硝酸氮,而且两者都显著比铵氮少。在氮的形态上,这种分布特点表明池塘中可能存在抑制硝化作用的因素。这种因素,一方面可能是水中有大量的有机质;一方面可能是水中的非离子态氮的含量高。据赵振华^[2]的材料:当非离子态氮达到 0.1 毫克/升以上时,对硝化菌即有抑制作用。高产池铵氮含量平均为 0.84 毫克/升,当 pH 为 8.5,水温为 27°C 时,水中非离子氮含量即达 0.17 毫克/升,已超过上述抑制值。考虑到以上假定的 pH 及水温是该地区池塘在生长期经常能达到并超过的,因而可以认为鱼池中非离子态氮经常能达到使硝化细菌受到抑制的浓度。

非离子态氮对鱼是一种极毒物质。25°C 时花鲢、白鲢鱼苗的 24h TLM 值分别为 0.91 毫克/升和 0.46 毫克/升,草鱼更敏感⁽¹⁾。对鳙鱼种的 48h TLM 值为 1.4 毫克/升⁽²⁾。欧洲内陆渔业咨询委员会建议的非离子态氮的安全浓度为 0.25 毫克/升,苏联渔业规定渔业水域非离子态氮的浓度不得超过 0.05 毫克/升。而河埭口高产鱼池中非离子态氮含量则常常远超过了规定的指标。其含量虽然距离引起池鱼大批急性中毒浓度尚远,但也不能否认它对池鱼有毒害作用。比如鱼池经常死鱼可能与此有关。

3. 耗氧量及 pH 值

从表 4 可见,8 个高产池原水的耗氧量变动较大,波动范围为 7.8 到 24.7 毫克/升,达 3 倍多。但各池的平均值却比较接近 (12.3—14.4 毫克/升)。8 个池塘的平均值为 13.26 ± 0.25 毫克/升。3 个低产池的耗氧量的平均值为 8.4 毫克/升,约为高产池的 63%。

有机物质含量是水质肥瘦的标志,但含量过多对氧气情况不利。一般说来,耗氧量越高,表明水中有机质也越多。作为静水养鱼池,耗氧量究竟多少比较合适? 过去一般认为普通鱼池中适宜的耗氧量为 30—40 毫克/升,高的可达 45—55 毫克/升^[3]。我们所测耗氧量最高值是 24.7 毫克/升,这是水中含有大量极易解体的膝口藻(生物量: 51.5 毫克/升)时所测得的结果,其他一般均在 10—20 毫克/升之间。产生如此差异的原因可能是测定耗氧量的方法不同。过去水产养殖界多采用徐墨耕等(1960)^[3]的方法,氧化时,高锰酸钾及碱的浓度分别为 0.036*N* 及 1.43*N*, 温度是室温。我们采用的是现在卫生及环境保护部门的通用方法,氧化时高锰酸钾浓度约为 0.001*N*, 硫酸浓度为 0.4*N* (酸式法),煮沸 10 分钟^[4]。后者的测定结果比前者低。根据我们所测得的结果,可以认为耗氧量在 13—15 毫克/升左右已是肥水的标志,10 毫克/升以下属于较瘦的水。

为了大致得出该地区鱼池水中溶解和悬浮有机物含量的比例,我们曾进行了 26 次原水和滤过水的耗氧量对比测定。滤器是孔径为 4—5 微米的玻璃砂芯漏斗。虽然孔径较大,水中较细的悬浮物可滤过,但过滤时由于滤器滤孔很快堵塞,滤过的水从肉眼看是澄

(1) 雷衍之,金送笛,1979。关于氨对鱼苗的毒性的初步试验。辽宁淡水渔业 3:11。

(2) 水生生物研究所 1975。利用藻类去除氨氮的试验。环境保护与水生生物研究报告 14:26。

表4: 化学耗氧量及 pH 值*

池 别		原水耗氧量** (O ₂ , 毫克/升)	滤过水耗氧量** (O ₂ , 毫克/升)	pH 值	
河 埠 口 高 产 池	重 点 观 测	双元池	8.2 ⁽¹²⁾ / _{14.4} 24.7	3.8 ⁽⁴⁾ / _{4.8} 5.8	7.40 ⁽⁹⁾ / _{8.11±0.41} 8.70
		小方池	7.8 ⁽¹³⁾ / _{12.6} 19.8	4.5 ⁽⁵⁾ / _{5.8} 6.8	7.45 ⁽¹²⁾ / _{7.93±0.36} 8.90
		大池	7.8 ⁽¹⁴⁾ / _{12.7} 21.6	3.3 ⁽⁷⁾ / _{5.6} 7.4	7.54 ⁽¹¹⁾ / _{8.15±0.43} 9.12
		大庆池	9.9 ⁽¹³⁾ / _{12.3} 17.3	4.5 ⁽³⁾ / _{5.5} 6.4	7.42 ⁽¹¹⁾ / _{7.72±0.18} 8.20
		四池平均	13.0	5.4	
	非 重 点 观 测	靠浜池	8.0 ⁽⁵⁾ / _{13.9} 19.5	4.6	7.68 ⁽⁸⁾ 8.29
		老边池	9.5 ⁽⁵⁾ / _{13.6} 20.6	—	7.51 ⁽⁵⁾ 8.14
		必吞池	10.0 ⁽⁴⁾ / _{12.6} 14.5	—	7.62 ⁽⁵⁾ 8.01
		王山池	9.8 ⁽⁵⁾ / _{14.0} 18.9	5.4 ⁽²⁾ / _{5.9} 5.7	7.32 ⁽⁴⁾ 8.20
		四池平均	13.5	5.2***	
五 里 湖 低 产 池	非 重 点 观 测	五里湖 15	5.3 ⁽⁵⁾ / _{9.7} 13.8	5.5	7.65 ⁽⁴⁾ 8.42
		五里湖 19	6.8 ⁽⁵⁾ / _{8.9} 10.9	3.9	7.50 ⁽⁴⁾ 8.20
		五里湖 21	4.2 ⁽⁵⁾ / _{6.7} 9.9	2.1 ⁽²⁾ / _{2.8} 3.5	7.62 ⁽⁴⁾ 8.29
		三池平均	8.4	4.1***	

* 在横线的两端示数据的变化范围,横线下为算术平均值,括号中的数字是数据个数。

** “原水”指摇匀的未加处理的水样,“滤过水”指用 G4* 耐酸漏斗(长春玻璃厂生产,孔径约 4~5 微米)抽滤后的水样。

*** 按数据个数平均。

清的。因此,我们认为可近似地将滤过水的耗氧量看作是溶解及胶态有机物质的耗氧量。8 个高产池的 22 个滤过水的耗氧量波动于 3.3—7.4 毫克/升之间,平均为 5.4 毫克/升。占原水耗氧量的 25—70%,平均 47%。3 个低产池的 4 个滤过水的耗氧量变化在 2.1—5.5 毫克/升,平均为 3.8 毫克/升,约为高产池的 70%。平均占原水耗氧量的 52%(变动在 35—62%)。这表明池水中溶解(包括胶态)有机质和悬浮有机质(包括浮游生物)大约各占一半。Wetzel (1975)^[6]也曾指出,在富营养型湖,当原生动物和细菌繁殖盛期,溶解有机物和悬浮有机物的比值接近于 1。

我们对 4 个高产池塘的原水曾各对照作过一次重铬酸钾耗氧量,数据为 66(双元池),55(小方池)、50(大池)和 64(大庆池)毫克/升,与此相对应的高锰酸钾耗氧量为 18.1,18.4,10.4 和 11.6 毫克/升,平均为重铬酸钾耗氧量的 25%。

各池的 pH 值列于表 4。该地区鱼池水属于弱碱性水,一般在 pH 8 左右,处于我国四大家鱼的最适宜的 pH 范围内。从整个观测期间看,各池的 pH 都是比较稳定的,未见我们在北方一些鱼池常见的 pH 值逐渐升高到 9.5—10 以上的情况。这表明这些鱼池

的缓冲性较好,而且其中二氧化碳的供求关系基本处于平衡状态。

Г. Г. Вилберг 等^[7]认为重铬酸钾耗氧量在数值上近似等于有机物的干重。据此,利用浮游生物的定量数据及其平均干湿比(1:7),可以对悬浮有机碎屑量进行估算。估算时,以前述的溶解有机物与悬浮有机物各占一半为依据,结果如表 5。

表 5: 有机碎屑和有机悬浮物的估计

单位: 毫克/升

池名	生物量(湿重)			浮游生物干重	耗氧量(Cr)有机物干重	有机悬浮物干重, W_2	有机碎屑干重, W_1	W_1/W_2 (%)
	浮游植物	浮游动物	合计					
大庆	26.7	13.4	40.1	5.7	64	32	26.8	82%
小方	59.1	18.9	77.4	11.1	55	28	16.9	60%
双元	20.1	17.3	37.4	5.3	66	33	27.7	84%
大池	28.2	8.1	36.3	5.2	50	25	19.8	79%

结果表明,池水中有机碎屑(包括碎屑上的细菌)占了有机悬浮物的大部分(三分之二到五分之四,平均四分之三)。

4. 某些化学成分的垂直分布与昼夜变化

本地区的成鱼池都安装了增氧机,池面又较大,池水上下交换良好,白天因光照引起的水温、溶氧、pH 的表、底层的差异,到晚上均趋于一致。因此,营养盐含量上下差别不大,表 6 中的双元池是其中一个测定实例。对于没有增氧机、池面又较小的鱼池,例如某鱼苗池面积约 2 亩,水深最大 1.75 米,在 7 月份的一段时间内曾出现温跃层和化学分层,底层水呈灰黑色,有硫化氢气味,溶氧为零, pH 和营养盐含量上、下层有很大的差别(见表 6 中鱼苗池)。底层铵氮是表层的 12.5 倍到 37 倍,磷酸盐是表层的 29 倍到 116 倍。而

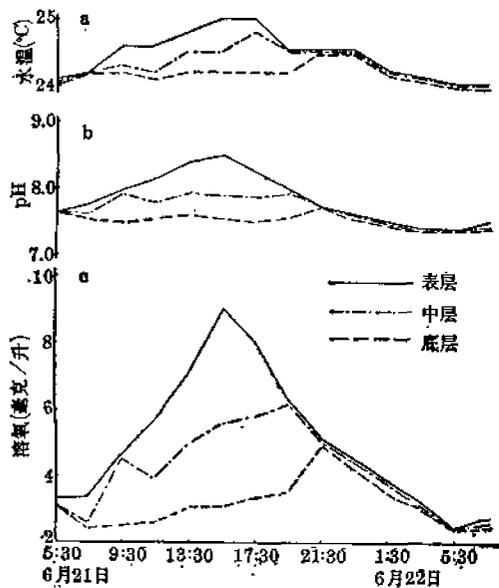


图 1 双元池的水温、pH 值及溶氧昼夜变化曲线
a—水温 b—pH c—溶氧

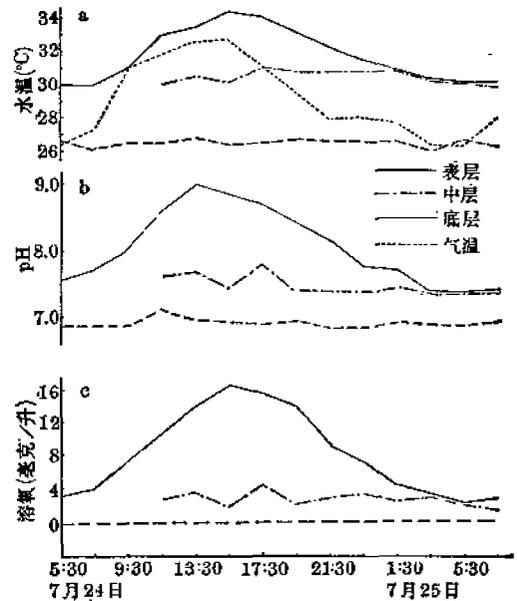


图 2 鱼苗池的水温、pH 值及溶氧昼夜变化曲线
a—水温、气温 b—pH c—溶氧

表层的硝酸盐和亚硝酸盐则高于底层,分别是底层的 14—26 倍和 2.3—3.7 倍。

图 1 和图 2 是前述两鱼池的水温、溶氧和 pH 值的昼夜变化曲线。从图可以看出这三个项目的变化是同步的。双元池测定的当日天气是阴到多云,偏东风,上午 2—3 级,下午 3—4 级,到下午 3 时半左右表层水温达最高值,此时表层 pH 及溶氧也达最高值,表、底层的差值此时也最大。此后表层溶氧下降,而中层和底层溶氧却仍然继续增加。这表明此时光合作用减弱,加上风力又有所加强,水的混合作用加快,因而使中层和底层水的溶氧得以继续上升。到 19 时 30 分表层和中层已基本均匀,而底层的溶氧在继续上升。到 21 时 30 分,表、中、底三层则已混合均匀,三层溶氧几乎一样。此后上、下层溶氧以同样速率下降,直到天亮前夕(次日 5 时 30 分)。

表 6: 水化学成分垂直分布及早晚变化

项 目		NO ₃ -N 毫克/升	NO ₂ -N 毫克/升	NH ₄ ⁺ -N 毫克/升	磷酸盐 P ₂ O ₅ 毫克/升	硬 度 毫克当 量/升	碱 度 毫克当 量/升	pH	
双 元 池	6月21日 5:30	表层	0.117	0.223	0.995	0.012	2.72	2.74	7.65
		中层	0.113	0.222	0.995	0.012	2.71	2.72	7.65
		底层	0.113	0.222	0.995	0.015	2.72	2.72	7.65
	6月21日 17:30	表层	0.120	0.230	0.938	0.015	—	—	8.25
		中层	0.118	0.234	1.02	0.018	—	—	7.88
		底层	0.111	0.234	1.05	0.015	—	—	7.52
某 鱼 苗 池	7月24日 5:00	表层	1.56	0.176	0.466	0.012	3.50	2.50	7.55
		底层	0.059	0.073	6.30	0.655	4.10	4.28	9.90
	24日 17:00	表层	1.28	0.202	0.145	0.016	—	—	8.70
		底层	0.093	0.054	5.40	0.462	—	—	6.90
	25日 5:00	表层	1.12	0.176	0.585	0.009	—	—	7.35
		底层	0.083	0.053	7.35	1.06	—	—	6.88

鱼苗池则是另一种情形。因鱼池较小,背风,又没安装增氧机,此时正好出现了稳定的温跃层。表、底层水得不到交换,底层溶氧全天为零,水质上、下有很大差异(表 6)。

从图 1,2 可以看出,晚上 9 时后溶氧随着时间几乎呈直线关系下降。利用这一特点可以在晚上 9 时后测出溶氧下降速率来推算第二天清晨是否可能缺氧。

初级生产力

(一) 工作方法

每池在中心区一处挂瓶,分三层,上层挂于 0.2 米深处,中层挂于 1.0 米深处,底层挂

于 1.8 米深处。(双元池因挂瓶处较浅, 底层挂于 1.5 米深处)。用采水瓶从各相应的深度取水, 并用虹吸法装瓶。

“白瓶”采用玻璃磨口无色试剂瓶, “黑瓶”采用茶色细口瓶, 外涂黑色油漆并包裹黑色胶布, 瓶的容量约 100—150 毫升。

为使水中有较高的溶氧, 一般在上午 10 时以后取水装瓶。黑瓶与白瓶均正挂于各池中, 24 小时后取出测氧。白瓶与黑瓶溶氧之差为毛产氧量。装瓶时溶氧与黑瓶溶氧之差为水呼吸耗氧量, 白瓶溶氧与装瓶时溶氧之差为净产氧量。按下式计算全水柱的平均值(毫克/升·日):

$$\text{双元池 } P = \left(\frac{P_{\text{表}} + P_{\text{中}}}{2} \times 1.0 + \frac{P_{\text{中}} + P_{\text{底}}}{2} \times 0.5 \right) \div 1.5 \quad (1)$$

$$\text{其余三池 } P = \left(\frac{P_{\text{表}} + P_{\text{中}}}{2} \times 1.0 + \frac{P_{\text{中}} + P_{\text{底}}}{2} \times 1.0 \right) \div 2.0 \quad (2)$$

式中 P 的下标“表”、“中”、“底”分别表示不同水层的数据。

河圩地区池水中活性磷含量普遍较低。为探讨磷是否是本地区池塘初级生产力的限制因素, 我们采用白瓶产氧量法作了对比试验, 主要步骤是将试验的池水盛于塑料桶中充气, 使溶氧较接近平衡值, 然后用虹吸法灌瓶, 立即往各瓶按计算加入磷酸二氢钾标准液或氯化铵标准液, 同时设二对照瓶, 盖上瓶盖后悬挂于池中表层同一深度曝光, 经一定时间后, 测定并比较各瓶中的溶氧。

(二) 结果与讨论

5 月末到 8 月末所做的黑白瓶试验结果汇总于表 7。

从所测得的数据看, 无论是晴天还是阴天, 表层的毛产氧量都大于“水呼吸”耗氧量(所谓“水呼吸”是指水中化学物质的氧化及浮游动物、浮游植物和细菌等小型生物的呼吸耗氧量)。到 1 米深处, 则多半是毛产氧量低于水呼吸耗氧量, 净增氧是负值。底层则几乎不产氧。四个鱼池平均毛产氧量, 表层为 16.15 ± 1.18 毫克/升·日, 中层为 1.24 ± 0.38 毫克/升·日, 底层则为 0.16 ± 0.07 毫克/升·日。水呼吸耗氧量表层为 6.68 ± 0.19 毫克/升, 中层为 4.95 ± 0.66 毫克/升, 底层为 2.67 ± 0.66 毫克/升。

所测得的底层水呼吸耗氧值应比实际值偏低, 因灌瓶时水中现存氧不多, 24 小时后底层黑瓶溶氧经常为零或近于零。即水中原存溶氧不够 24 小时消耗的。为此, 我们曾采用装瓶前曝气充氧的方法, 测得底层水的耗氧值略低于中层(约为中层的 90%), 由此看来, 将底层水的呼吸耗氧量看作接近中层的水平可能是更合乎实际的。

下面就几个问题加以讨论:

1. 平均水柱产氧量及耗氧量:

根据观测期间各池分层毛产氧量的平均值及分层呼吸耗氧量的平均值, 我们采用下列公式计算大庆池、小方池及大池每平方米水面下 2.0 米深水柱的平均毛产氧量及水柱平均呼吸耗氧量:

表 7: 光合作用产氧量与呼吸作用耗氧量⁽¹⁾(单位: 毫克 O₂/升·日)

池 号	双 元 池	小 方 池	大 池	大 庆 池	四 池 平 均 ⁽²⁾
毛 产 氧 量	表层(0.2米) $\frac{7.88}{14.51 \pm 3.79} \frac{(12)}{19.10}$	$\frac{10.60}{16.38 \pm 3.37} \frac{(13)}{20.60}$	$\frac{10.24}{15.90 \pm 2.51} \frac{(16)}{19.10}$	$\frac{12.99}{17.82 \pm 2.77} \frac{(9)}{20.59}$	16.15 ± 1.18
	中层(1.0米) $\frac{0}{0.70 \pm 0.50} \frac{(8)}{1.48}$	$\frac{0.50}{1.73 \pm 1.39} \frac{(10)}{3.28}$	$\frac{0.87}{1.39 \pm 1.17} \frac{(14)}{4.72}$	$\frac{0.12}{1.13 \pm 1.61} \frac{(9)}{5.54}$	1.24 ± 0.38
	底层 ⁽³⁾ (1.8米) $\frac{0}{0.27 \pm 0.24} \frac{(9)}{0.62}$	$\frac{0}{0.12 \pm 0.28} \frac{(11)}{1.00}$	$\frac{0}{0.14 \pm 0.35} \frac{(14)}{1.30}$	$\frac{0}{0.10 \pm 0.11} \frac{(9)}{0.82}$	0.16 ± 0.07
呼 吸 耗 氧 量	表层 $\frac{2.48}{6.42 \pm 2.41} \frac{(12)}{9.56}$	$\frac{3.20}{6.90 \pm 2.12} \frac{(13)}{10.56}$	$\frac{2.61}{6.33 \pm 2.24} \frac{(16)}{10.80}$	$\frac{3.80}{6.53 \pm 1.63} \frac{(10)}{8.81}$	6.68 ± 0.19
	中层 $\frac{1.15}{4.06 \pm 2.03} \frac{(9)}{7.22}$	$\frac{3.00}{5.57 \pm 1.71} \frac{(12)}{8.34}$	$\frac{2.78}{4.56 \pm 1.58} \frac{(14)}{7.33}$	$\frac{3.06}{5.61 \pm 1.23} \frac{(9)}{7.28}$	4.95 ± 0.66
	底层 $\frac{0.99}{3.75 \pm 2.03} \frac{(10)}{7.10}$	$\frac{0.78}{1.97 \pm 0.73} \frac{(11)}{2.83}$	$\frac{0.87}{2.62 \pm 1.25} \frac{(14)}{5.89}$	$\frac{0.56}{2.34 \pm 1.06} \frac{(10)}{4.28}$	2.67 ± 0.65
全 ⁽⁴⁾ 水 柱 平 均	毛产氧 $\frac{3.21}{5.08 \pm 1.42} \frac{(6)}{7.26}$	$\frac{3.02}{4.91 \pm 1.39} \frac{(10)}{7.10}$	$\frac{2.85}{4.63 \pm 1.03} \frac{(14)}{6.98}$	$\frac{3.35}{5.23 \pm 1.00} \frac{(8)}{7.16}$	4.95 ± 0.22
	净增氧 $\frac{-4.38}{0.13 \pm 2.37} \frac{(6)}{-3.08}$	$\frac{-2.84}{0.05 \pm 1.82} \frac{(10)}{-3.60}$	$\frac{-3.52}{0.10 \pm 1.89} \frac{(14)}{-3.30}$	$\frac{-0.65}{0.24 \pm 0.67} \frac{(8)}{-1.20}$	0.11 ± 0.09

注: (1) 表中数据横线两端是数据的变动范围, 上方括号内是数据个数, 下方是算术平均值和标准差。

(2) 是四个池子的算术平均值的平均值, ±号后是四个平均值的标准差。

(3) 双元池底层系挂于 1.5 米深处, 四挂瓶处水深仅 1.5 米。

(4) 主水柱平均值系按文中式(1)、式(2)计算。

$$W_{\text{水柱}} = \frac{\bar{P}_{\text{表}} + \bar{P}_{\text{中}} \times 2 + \bar{P}_{\text{底}}}{2}$$

式中 $W_{\text{水柱}}$ ——每平方米水柱(2.0米深)的平均毛产氧量或平均耗氧量(克/米²·日)。
 $\bar{P}_{\text{表}}$ 、 $\bar{P}_{\text{中}}$ 、 $\bar{P}_{\text{底}}$ ——依次代表表层(0.2米)、中层(1.0米)及底层(1.8米)的平均毛产氧量或平均耗氧量(毫克/升·日)。

由于我们没有在水层0米(最表层)处测定,故将 $\frac{1}{2}(\bar{P}_{\text{表}} + \bar{P}_{\text{中}})$ 看作是0到1.0米水层的平均值。同样也将 $\frac{1}{2}(\bar{P}_{\text{中}} + \bar{P}_{\text{底}})$ 看作从1.0米到2.0米水层的平均值。这样处理,计算各水层总产氧量时,1米以上水层偏低,1米以下水层偏高。求水柱总产氧时误差可部分抵消。计算的结果如表8。

表8: 每平方米的水柱产氧量和耗氧量

池 别	水柱毛产氧量 (克/米 ² ·日)	水柱耗氧量 (克/米 ² ·日)	水柱耗氧量* (克/米 ² ·日)
大庆池	10.09	10.07	11.86
小方池	9.98	10.01	11.53
大池	9.41	9.29	10.03

* 系将底层(1.8米)耗氧值视为中层(1.0米)耗氧值的90%计算之结果。

结果表明,在一平方米面积下2米高水柱的毛产氧量均小于其水呼吸耗氧量。这正是水中不仅有丰富的浮游植物,还有大量有机质、细菌和浮游动物等耗氧物质的反映。

2. 平均补偿深度

为了近似估计各池塘的平均补偿深度,我们用表层的平均毛产氧量减表层的平均水呼吸耗氧量,所得差值作为该池表层的平均净产氧量。再用同样的方法求出中层的平均净产氧量(是负值)。然后将表层(20厘米)净产氧量与中层(100厘米)净产氧对深度进行直线内插,找出净产氧为零时的深度。所得值,双元池为77厘米,小方池为79厘米,大池为80厘米,大庆池为77厘米,四个池子的平均值为78厘米。这可以近似看作是无锡地区高产鱼池夏季氧的平均补偿深度。在这以下的水层本身就是氧气的消费者。可见从改善池水溶氧状况的角度考虑,在这种水质状况下,鱼池过深是没有好处的。

据我们观测,8个高产池的透明度的平均值是32厘米,平均补偿深度是透明度的2.4倍。

3. 初级生产量的估算

前面已经算出,77年5—8月间,大庆池、小方池及大池的平均水柱毛产氧量为10.09, 9.98及9.41克/米²·日。在正常情况下,浮游植物的净产氧量约等于毛产氧量的80%,故该三池浮游植物平均水柱净产氧量为8.07、7.98及7.53克/米²·日。以释放1毫克氧相当于产生6.1毫克浮游植物(湿重)计算,这三池在5月—8月间的平均水柱日初级生产量为49.2、48.7及45.9克/米²·日的浮游植物(湿重)。

表9: 池水添加铵盐及磷酸盐对光强度的影响试验

试验 序号	日期	天气状况	挂瓶时间	池水原含量		添 加 量		试验结束时溶氧量		溶氧增加量 (同对照瓶比) 毫克/升	备 注
				P ₂ O ₅ 毫克/升	NH ₄ -N 毫克/升	P ₂ O ₅ 毫克/升	NH ₄ -N 毫克/升	对 照 瓶 O ₂ 毫克/升	试 验 瓶 O ₂ 毫克/升		
1	7月2~3日	晴	2日 10:15—3日 13:40			约0.2		20.0	23.4	3.4	大池
2	7月5日	晴	10:50—19:00	0.011	0.50	约0.2	0	16.1	16.5	0.4	大池
				"	"	0.2	0.5	"	17.2	1.1	
3	7月7~8日	晴	7日 8:50—8日 8:50	"	"	0	0.5	"	15.9	0.2	大池
				0.008	0.68	0.2	0	16.5	19.1	2.6	
4	7月8~9日	阴	8日 15:00—9日 15:00	"	"	0	0.5	"	17.3	0.8	大池
				"	"	0.2	0.5	"	18.3	1.8	
5	7月11~12日			0.025	0.22	0.2	0	20.3	20.5	0.2	大池
				"	"	0	0.5	"	19.6	-0.7	
6	"			"	"	0.2	0.5	"	21.0	0.7	大池
				0.081	0.70	0.15	0	12.2	14.8	2.6	
7	7月16~17日	16日上午晴 下午阴 17日阴	16日 8:30—17日 15:00	"	"	0.30	0	"	17.9	5.7	小方池
				0.033	1.58	0.17	0	19.7	22.6	2.9	
8	"	"		0.080	—	0.1	0	13.3	15.4	2.1	双元池
				"	—	0.29	0	"	23.2	3.5	
8	"	"		0.012	—	0.1	0	27.2	28.2	1.0	小方池
				"	—	0.2	0	"	31.1	3.9	

说明: 添加用的铵盐系用氯化铵、磷酸盐系用磷酸二氢钾, 分别配成浓溶液。在用虹吸法将试验瓶注满水样后, 再用毛细吸管将肥料加入。

根据现有资料,施肥鱼池初级毛产量常常达到 $15-21$ 克氧/米²·日以上,河埭口高产池塘才约 10 克氧/米²·日,这是不算高的。其原因,一是水的透明度低(平均 32 厘米),光合水层平均总共不过 78 厘米;二是水中活性磷含量低,对光合作用可能有一定的限制作用。此外,因测定是采用曝露 24 小时的方法,数据可能偏低。

为了试验磷是否是限制因素,我们用白瓶增氧法进行了 8 次施肥对比试验,所得结果列于表 9 。凡加了磷酸盐(磷酸二氢钾)的瓶内溶氧含量都比对照瓶高,并且在同一天的试验中,加磷多的产氧量也增多。而在三次单独加氮肥(氯化铵)的瓶中,有两次产氧反而比对照瓶少。这充分说明鱼池中活性磷含量低是初级生产量的限制性因素,而氮素营养是过剩的。Кузьмичева, В. И(1979)用生物试验后指出,池塘藻类的产量首先是受氮的限制,对磷的需求只在个别的水化学状况特殊的水体中表现出来。有许多试验表明,水中溶解总氮($\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+ +$ 有机氮)达 $1.7-2.0$ 毫克/升以上时,即对浮游植物达到了饱和^[9]。河埭大队的高产鱼池的三种无机化合态氮含量平均已达 $1-2$ 毫克/升,加上水中有机质含量丰富,溶解总氮总是超过了上述饱和指标。可以认为我们的试验结果和上述结果是一致的。

为了进一步证实“白瓶”增氧法的试验结果,我们 8 月份在小方池进行了两次施磷肥的观察。所施用的是当地土制过磷酸钙,按每亩 5 斤加水后全池泼洒。第二天和第三天观察氧气和浮游植物生物量。两次试验均未见效果。其原因可能是两次施肥后的天气都不太好(一次施后连续阴天,一次是多云),也可能是池水的条件限制了磷酸盐的溶解,泼洒当时立即可见有大量的白色沉淀物生成。此外,透明度低也可能是限制因素。

4. 氧气收支的估算

现以小方池为例,探讨一下高产池塘氧气的收支平衡。

池鱼的耗氧量:小方池当年亩产 2022 斤,亩净产 1396 斤,用鱼种量为 626 斤/亩。共进行了五次轮捕。池中平均鱼载量以每亩 500 公斤计,即每平方米水面平均鱼载量 750 克。池鱼的耗氧速率^[4]以二年鲢(0.237 毫克/克·小时)、二年鳙(0.161 毫克/克·小时)及三年草鱼(0.145 毫克/克·小时)的平均值(计算时参考了放养比例) 0.184 毫克/克·小时计,可算得每平方米水面的池鱼的耗氧量平均为 3.3 克/米²·日。

“水呼吸”耗氧量:前面已计算出小方池每平方米水面下 2.0 米厚水柱的耗氧量为 11.53 克/米²·日。

底质耗氧量:我们没有测定鱼池底质的耗氧率,现只能参考一些资料来进行估计。Mezainis(1977)和 Schzoeder(1975)^[1]测定的鱼池底质耗氧率的中间值为 61 毫克/米²·小时,即 1.46 克/米²·日,苏联一些密养鱼池的底泥耗氧率为 $0.4-1.0$ 克/米²·日^[5]。考虑到河埭二队鱼池经常清底,底质较坚实,淤泥不多,故我们将其底质的耗氧视为 1.5 克/米²·日。

由于鱼池溶氧过饱和的时间较短,在估算中将溶氧的逸出损失忽略不计,则每平方米池面下的总耗氧率为: $3.3 + 11.5 + 1.5 = 16.3$ (克/米²·日)

(1) 转引自:江苏省淡水水产研究所编,国外水产科技资料,4:85(1979)。

各部分耗氧所占比例是:

池鱼的呼吸 占 20%

“水呼吸” 占 71%

底质耗氧 占 9%

这里鱼的呼吸耗氧所占的比例比通常认为的占 5—15% 要大一些,这显然是因为河埭口成鱼池的鱼载量大得多。

前面已算出小方池光合作用的平均毛产氧量为 9.98 克/米²·日,而总耗氧量达 16.3 克/米²·日,可见还有 6.3 克/米²·日,即将近 40% 的氧气要来自空气的溶解或补水。当地鱼池补水量不大,所以这 6.3 克/米²·日主要来自空气,而浮游植物光合作用约占氧气总补给量的 60%。同日本养鳗池氧气来源相比,空气补给的比例较大。这表明增氧机在当地成鱼生产中有很重要的作用,它可加速空气的溶解。没有增氧机,鱼池常会缺氧泛塘,鱼产量就会大幅度下降。

结 语

无锡河埭大队高产鱼池水质特点可小结如下:

1. 总含盐量约 0.3 克/升。以 Ca^{2+} 和 HCO_3^- 最多,总硬度、总碱度均在 3 毫克当量/升左右,具有较好的缓冲性。

2. 铵氮、硝酸氮和亚硝酸氮含量丰富,三氮总计平均为 1.24 毫克/升,其中铵氮约占 61%,硝酸氮占 23%。磷酸盐含量平均为 0.028 毫克 P_2O_5 /升, N/P 比值平均在 61—139。磷可能是池塘初级生产力的限制因素,氮营养则过剩。氮含量可能已对池鱼产生危害。

3. 水中有机质较丰富,原水耗氧量平均 13.3 毫克/升。悬浮有机质和溶解有机质约各占一半。悬浮有机质中有机碎屑(包括碎屑上的细菌)占大部分。

4. 平均补偿深度约 77—80 厘米。2 米深水柱平均毛产氧量小于或等于平均水呼吸耗氧量。估算氧气的来源中有约 60% 来自光合作用,约 40% 来自空气溶解或补充新水。增氧机对氧的补给起了重要作用。氧消耗中“水呼吸”约占 70%,池鱼呼吸约占 20%。

参 考 文 献

- [1] 中国医学科学院卫生研究所编,1973。水质分析法。人民卫生出版社。
- [2] 赵振华,1979。河水在硝化过程中抑制作用的研究。环境科学,4:22—27。
- [3] 徐墨耕,任云峰,1959。淡水养殖水化学,上海科学技术出版社。
- [4] 陈宁生,施琰芳,1955。草鱼、白鲢、花鲢的耗氧率。动物学报,7(1),43—57。
- [5] 何志辉,1966。苏联密养鱼池氧气昼夜平衡的研究。国外水产,1:36—39。
- [6] Wetzel, R. G., 1975. Limnology. Philadelphia London Toronto.
- [7] Винберг, Г. Г., Ляхнович В. П., 1965. Удобрение прудов. —м: пищевая промышленность.
- [8] Кузьмичева В. И., 1979. Общие основы изучения водных экосистем под ред. Г. Г. Винберга. стр. 237—238.

**STUDIES ON THE WATER QUALITY OF THE HIGH-YIELD
FISHPONDS IN HE LIE COMMUNE, WUXI SHI
PART 1. CHEMISTRY OF FISHPOND WATER AND PRIMARY
PRODUCTIVITY**

Lei Yanzhi, Yu Shuming and Xu Jie

(*Dalian Fisheries College*)

Abstract

This paper embodies the results of hydrochemical survey and the estimations of phytoplankton production in eight high-yield fish ponds of Helie commune Wuxi from May to August 1977. Three ponds of Wuli Hu fish farm are also studied for comparison.

The high-yield ponds have moderate main ions in content, with a constant pH value. The effective nitrogen of the water averaged 1.24mg/l, among which $\text{NH}_4\text{-N}$ 61%, $\text{NO}_2\text{-N}$ 16% and $\text{NO}_3\text{-N}$ 24%. The soluble reactive phosphorus is 0.028 mg/l. COD_{Mn} is 13.3mg/l. Owing to the high N/P value (61—139), the phosphorus should be the limiting factor of the primary productivity.

Based upon a rough calculation, it shows that the particulate organic matter is almost equal to the dissolved organic matter and detritus constitutes 2/3—4/5 the particulate organic matter.

The compensation layer of the pond water lies on 77—80cm, it is 2.4 times to the Secch transparency.

The gross production of phytoplankton of the water column averaged 9.41—10.09 $\text{g.O}_2/\text{M}^2$ per day, which is usually less than the respiration of the pond water.