

越冬池冰下水体理化因子的研究*

雷衍之 张桂兰

(大连水产学院,大连) (黑龙江水产研究所,哈尔滨)

提 要

1. 越冬池底层水温一般为1—3.5℃, 2月份最低(平均1.03℃)。采用扬水曝气, 水温低于0.5℃。

2. 明冰下的光照达数千以至上万lx的一般一天有6—7小时以上。乌冰下的光照亦可达 3×10^3 lx以上, 仍有较大的产氧潜力。

3. 明冰下的光合作用日产氧量为0.21—12.45, 平均 2.34 ± 2.11 毫克氧/升·日。补偿深度平均为 1.13 ± 0.35 米。底泥耗氧率平均为0.40克/米²·日; 水呼吸耗氧率为0.04—3.76, 平均 0.62 ± 0.52 毫克/升·日。

4. 铵氮各池平均值在0.05—1.29毫克/升总平均0.19(1979年)及0.54(1980年)。硝酸氮各池平均值多在0.1毫克/升以下。亚硝酸氮含量很低, 最高0.013, 平均0.0027毫克/升。磷酸盐含量平均为0.049(1979年)和0.040(1980年)毫克P/升。

5. 发现了冰下表层有对藻类的光抑制和营养盐对光合作用的限制现象。试用冰下施无机肥以提高光合作用速率, 效果很好。

我国北方地区, 越冬的鱼类要在越冬池中生活长达五、六个月。关于越冬池冰下水体的光照、水温及水化学状况, 过去研究得很少。已有的资料都是从传统的越冬管理方式中总结出来的, 对于生物增氧的越冬池不一定适用。为了解冰下水体理化状况的变化规律, 改进越冬管理, 促使鱼类安全越冬, 作者在1978—1982年间对黑龙江、吉林、辽宁三个省部分鱼类越冬池进行了上述内容的研究。系统的、全面的观测工作是1979—1980年及1980—1981年两个越冬期在哈尔滨进行的。

试验条件及方法

(一) 越冬池的条件

进行系统观测的越冬池, 1979年7个, 1980年11个, 均位于哈尔滨市郊。都是止水越冬池, 补水量一般不大。另有一池(丰产塘), 1979年作储水用, 1980年用于少量鱼的越冬, 后期水的交换量较大, 亦作过部分观测。冰面积雪通常能及时清除, 清除面积约占

* 本研究工作得到了何志辉教授, 魏立贤副研究员的指导。在论文撰写中何教授还给予许多帮助。参加测定工作的还有靖玉琴、郭淑华、史立平、李丽坤、李丽敏、马春荣、陈海燕、张俊茹等。借此一并致谢。
1984年4月15日收到。

总面积的70—90%。除个别池在溶氧较低时短期采用过扬水补氧外,均未采用机械增氧。

越冬池深度,除青龙湖为3.9米(含冰厚,下同)外,均为1.8—3.0米。越冬幼鱼多为鲤、鲢、鳙,体长多在10—13厘米以上。每立方米水体越冬鱼数量,1979年为0.26—0.70斤(130—350克),1980年为0.38—1.22斤(190—610克),后一年各池密度普遍比上一年增加近一倍。

池水均属淡水。 HCO_3^- 含量较高,达195—389毫克/升, Cl^- 为1.0—37.5毫克/升, SO_4^{2-} 为1.3—14.0毫克/升, Ca^{2+} 为49—90毫克/升, Mg^{2+} 为9—24毫克/升。各池的总碱度与总硬度都较接近。属阿列金分类的碳酸盐类钙组。

(二) 工作方法

1. 测定项目、仪器及水样的采取与分析

现场测定水温、透明度,固定测溶氧的水样。取样位置在越冬池的中部。溶氧分表层(0.5米深)、底层(离底0.2米),其他项目取中层(1.5米深)。水样用白色聚乙烯塑料桶取回,测pH后分成3份:一份用玻璃瓶装,500毫升中加浓硫酸1.5毫升,用于活性磷及耗氧量测定;一份加氯仿,用于测定硝酸盐、铵盐、硅酸盐、碱度等;另一份不加药剂,用于测定氯化物、硬度、总氮、总磷等。各水样均放入冰箱或低温处保存。营养盐类一般在取样后第二至第三天测毕。1979年冬每月观测3次,1980年冬每月2次。

测定仪器为半导体水温计(分度值 0.2°C)、精密酸度计、分光光度计。耗氧量用酸性高锰酸钾法,煮沸10分钟后迅速冷却、加碘化钾,立即用硫代硫酸钠标准液滴定,取样及试剂用量均为常量法的五分之一。其余项目均用常规法^[1]。测定三种无机态氮的水样经絮凝预处理。测磷酸盐、硅酸盐及耗氧量的水样经4000转/分离心10—20分钟。其余采用原水样,有时也经过离心处理。

2. 冰下光照的测定

采用经过定标的水下照度计测定各种冰下的及冰面的照度,传感器均处于水平。透光率 = 冰下照度/冰面照度。

3. 光合作用产氧及水呼吸耗氧的测定

采用黑白瓶法。前一天取回水样置冷处保存。次日上午灌装黑、白瓶后用木架置青龙湖明冰下24小时。白瓶倒置离冰底面4—5厘米,黑瓶正挂于冰下30—40厘米。毛产氧量 = 白瓶溶氧—黑瓶溶氧。水呼吸耗氧量 = 原初溶氧—黑瓶溶氧。

4. 补偿深度

采用黑白瓶法,分2—3层取样灌瓶,分4—8层悬挂,曝露24小时。对深度作毛产氧量及水呼吸耗氧量变化曲线。用两线的交点作为补偿深度。

5. 底泥耗氧速率的测定

(1) 现场测定法 用自制装置测定接触底泥与不接触底泥的水耗氧之差,根据泥面积及上覆水量计算底泥耗氧速率。

(2) 室内测定法 将底泥取回室内放入标本瓶中,加池水覆盖,置冰箱内(3°C),静止2日后,将瓶中水吸出弃去。立即小心虹吸注满新取的池水并溢出约半瓶,加盖。同时

虹吸一瓶水作水呼吸对照。两者均置冰箱中,若干小时后测定溶氧。根据两瓶的溶氧差、泥面积、上覆水体积及接触时间计算底泥耗氧速率。

结果和讨论

(一) 冰下光照

在哈尔滨地区,厚40—80厘米的明冰,透光率一般为20—50%。晴天明冰下的照度,在日照最短的冬至日,也有6个多小时在 1×10^3 lx以上,冰面光照最强可达 3.7×10^4 lx(图1)。

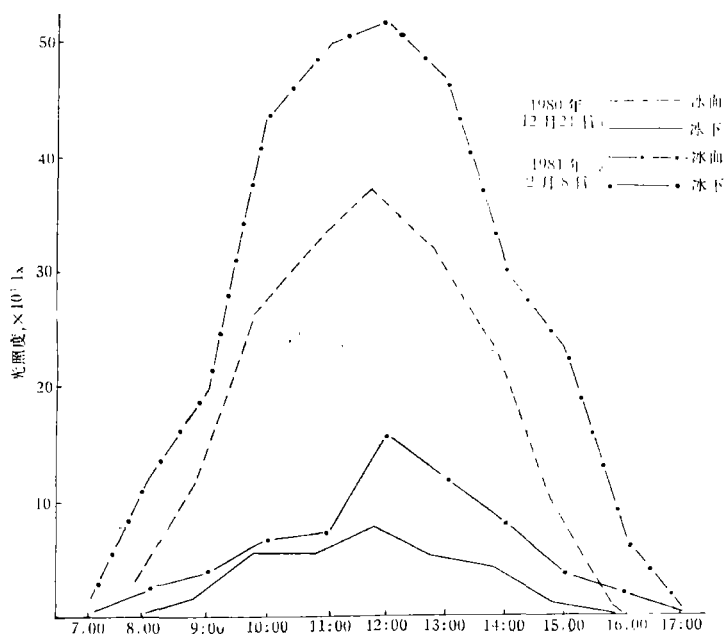


图1 光照度日变化(哈尔滨)

Fig. 1 Diel changes of light intensity (Haerbin)

大连地区越冬池的冰厚虽然仅为哈尔滨的三分之一,但由于天气暖和时可使冰的表面部分融化,这样再冻结的冰透光性差,冰的透光率与哈尔滨的相近。

明冰下照度随水深的变化,基本符合指数衰减规律,但表层衰减得更快一些(图2)。

乌冰的透光率则低得多,约为7—14%,冰下照度值为30—3300 lx。由于冰的升华作用,结冰时所形成的乌冰层会逐渐变薄,透光性可好转。

冰上如有10—30厘米厚的积雪,光的透过率则下降到0.1—5%,最大照度仅有30—100 lx。藻类的补偿在156—390 lx,常为300 lx^[7,8],可见覆雪冰下的光照难以满足藻类正常生命活动的需要,而不太厚的乌冰下的光照则可以保证藻类的繁殖。这正说明扫除乌冰上的积雪也是很重要的。

Greenback (1945) 在湖泊中测得13—19厘米的明冰可以透过85%的光;厚38.1厘

米带有乌冰层的明冰,透光率仅10—12%;覆盖了雪层的冰,雪厚2.5厘米,冰厚7.6厘米,透光率为10—17%;若雪厚13厘米,冰厚7.6厘米,则透光率仅为1—3%^[9]。这些结果同我们观测的基本一致。

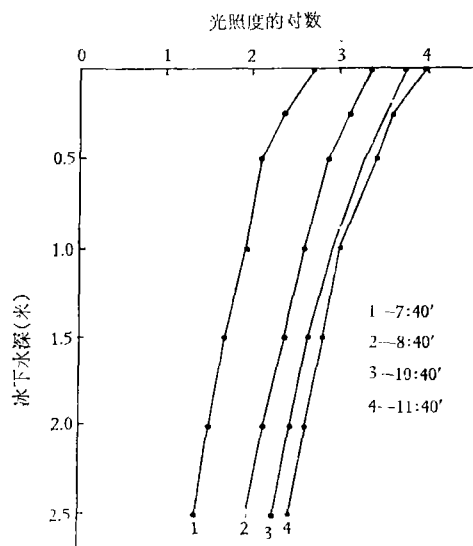


图2 越冬池光照度的垂直分布(哈尔滨,1980.12.21)

Fig. 2 The vertical distribution of light intensity in overwintering ponds

当年鲤鱼幼鱼即开始死亡^[9]。可见,扬水曝气这种补氧方式常对池鱼造成低温伤害,使越冬鱼死亡率增加。

水温的垂直分布是上低下高。多数在冰下0—50厘米间有一温度增加较快的水层,往下变化就比较平缓。冰下上层水温有时能测出日变化,这是太阳辐射的增温作用造成的。这种增温作用在辽宁南部地区临近化冰的晴天中午更明显。此时冰下20—40厘米处可升至5—6℃,形成水温的反常垂直分布。这种增温作用可使水中形成微小的垂直对流,对于浮游藻类的繁生可能是有益处的。

(三) 溶氧

越冬池溶氧的变化有如下一些特点(图4—6):

(1) 多数越冬池的曲线形状基本上都呈“双峰形”。封冰初期溶氧一般会有不同程度的上升,12月上旬与3月中旬各有一个高峰值。溶氧第一次下降期是在冬至(12月22日左右)前到冬至后一个月左右,下降的主要原因是由于这一时期日照最短。3月份以后

(二) 水温

据4个冬天先后对哈尔滨、长春、沈阳、大连等地区越冬池水温的测定,底层水温在1—3.5℃之间,地区差别并不大。整个越冬期间,池底层水温一般均有先降后升的变化(图3)。同一地区管理方式相同的越冬池,水温存在较大的差异。曾发现在同一排越冬池中有的水温显著低于其它池,其原因尚不清楚,可能是由于各池的内热源和蓄热条件不同所造成。

原池扬水曝气增氧的越冬池,水温会很快地下降到1℃以下。长期扬水可降至0.15—0.20℃。一般水温降到低于0.2℃时,

一般水温降到低于0.2℃时,

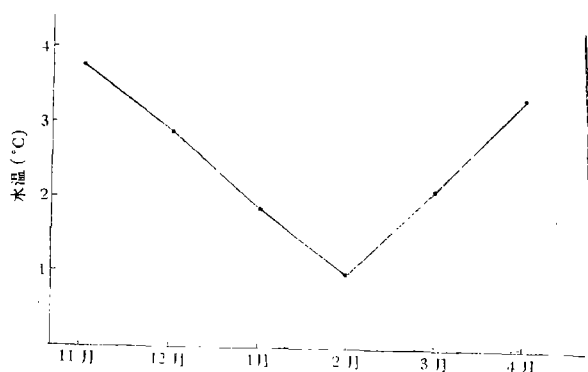


图3 哈尔滨部分越冬池底层水温月平均值

Fig. 3 The monthly average of bottom water temperature in some overwintering ponds (Haerbin)

溶氧第二次下降则可能是由于冰面的透光性变得较差及融冰水的稀释作用。

(2) 封冰前各池溶氧差别不太大(最大约 3—4 毫克/升),封冰后差距逐渐加大,到 3 月中下旬,两池溶氧相差最大可达 24—28 毫克/升,到化冰时差距又迅速缩小。

(3) 1980—1981 年冬天的生产池和新开 3 号池溶氧在封冰后不久就迅速上升,并且在日照最短的日子里仍然增加,使溶氧长时间保持在 20 甚至 30 毫克/升以上。曲线上出现的几次下降都是未及时扫雪造成的。而青龙湖这两冬的溶氧状况却不好,不得不短期采用机械补氧。只有到后期溶氧才有较明显的自动上升。造成这种差异的主要原因是:前两池水深适中、耗氧水层薄,青龙湖水过深、耗氧水层厚。

(4) 沙河水库的 8 号和 10 号越冬库溶氧的变化曲线基本上也呈“双峰形”,但受了较大的人为干预:前者采用了扬水增氧,后者采用了挂袋施无机肥促进浮游植物生长(图 6)。两次施肥后溶氧都大幅度上升。以后在许多越冬池都证实了施无机肥对增氧有良好效果。

(5) 表底层溶氧含量的差别一般不大。哈尔滨地区 177 次实测数据中,表层高于底

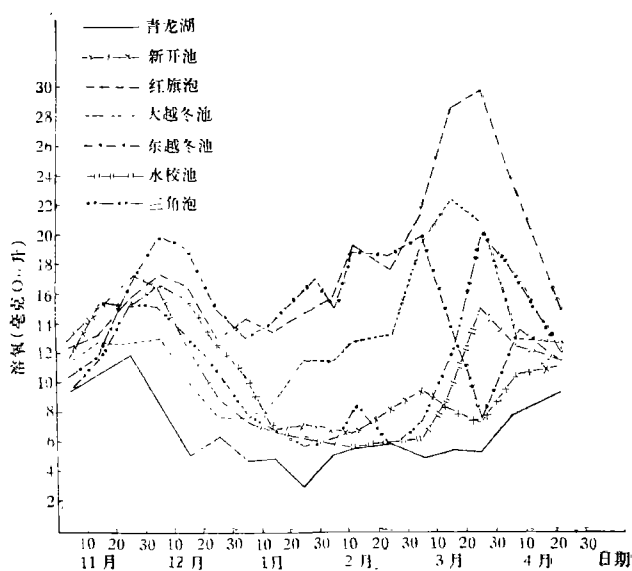


图 4 1979—1980 年越冬池的溶氧

Fig. 4 The dissolved oxygen in overwintering ponds during 1979—1980

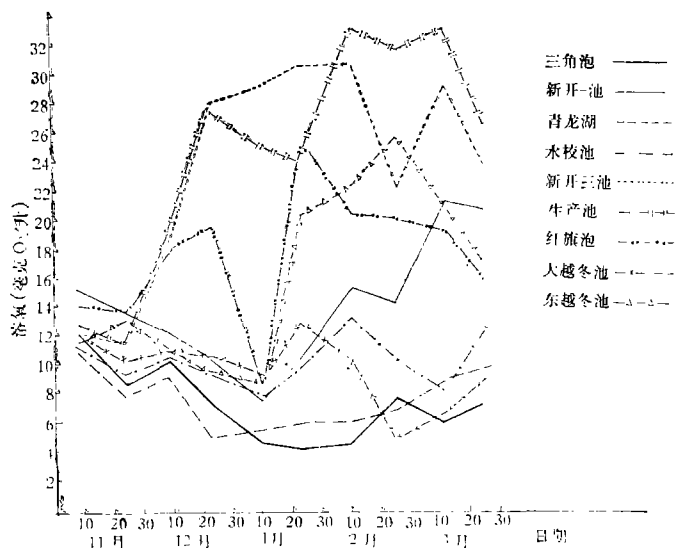


图 5 1980—1981 年越冬池的溶氧

Fig. 5 The dissolved oxygen in overwintering ponds during 1980—1981.

层的占 72%，平均高 1.8 毫克/升。底层高于表层的占 25%，平均高 1.2 毫克/升。较深的

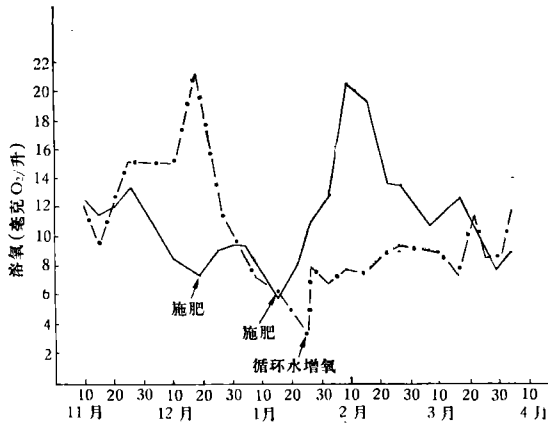


图 6 舒兰县沙河水库越冬池的溶氧

Fig. 6 The dissolved oxygen in overwintering ponds of Shahe Reservoir

越冬池上下相差较大，例如在青龙湖遇到表、底相差 8 毫克/升以上的情况。底层高于表层的情况多出现在鞭毛藻类占优势的池中。只要冰质和扫雪情况相同，同一越冬池溶氧的水平分布一般是比较均匀的。但如果扫雪情况不同，或注水量较大，则能造成水平分布上的较大差异，例如曾发现一越冬池扫雪与未扫雪部分溶氧相差达 9 毫克/升。Uhlmann (1978)^[7]曾指出鲤鱼越冬池冰下氧气的过饱和及因覆雪而急剧下降的现象。

(6) 溶氧的昼夜变化幅度不大，但常可测出。冰下表层的变化幅度可

达 0.90—2.40 毫克/升，这比夏季的变化量(可达 8—12 毫克/升^[4])要小得多。

(四) 光合作用产氧与水呼吸耗氧

据 8 个越冬池(包括未列入表 1 的丰产塘)共 110 个数据统计(表 1)，冰下表层光合作用毛产氧量，最大为 12.45 毫克/升·日，最小为 0.21，平均 2.34 ± 2.11 (标准差，下同)。水中浮游植物、浮游动物、细菌等微型生物及水中化学物质的耗氧(以下简称为“水呼吸”耗氧)，最大为 3.76，最小约为 0.04，平均 0.62 ± 0.52 。净产氧平均为 1.72，是毛产氧的 74%。一般认为在饱和光照下植物净产量是毛产量的 80—90%，平均 40—50%^[8]。我们所测结果高于其平均值，而稍低于饱和光照时的比值。考虑到我们所测的呼吸耗氧不仅仅是浮游植物的，还包括了其它微型生物，这样算得的净产量必然偏低。由此可以推测冰下表层光照，平均已接近或达到了浮游植物的饱和光照。我们所测得的净产氧最高达 10.42，足见条件适合时，冬季浮游植物也会有相当可观的光合作用速率，可以释放大量的氧气。越冬池溶氧在短期内大幅度上升也就可以理解。在湖沼中 Greenback 曾发现有三天溶氧上升了 8 毫克/升的现象^[5]。与无锡高产鱼池生长期相比，毛产氧量约为无锡的七分之一，水呼吸耗氧则约为其十一分之一。

毛产氧量 (Y 毫克/升·日)同浮游植物现存量 (x 毫克/升)之间有紧密的正相关:

$$\hat{Y} = 0.0408x + 0.803 \quad (1)$$

$$n = 107 \quad r = 0.80 \quad t = 13.66 > t_{0.001} = 3.4$$

各池毛产氧量变化较复杂。有的是 12 月份最低，有的是 1 月份或 2 月份最低。而以光甲藻占绝对优势的东越冬池，在光照最短的 12 月和 1 月份产氧反而更高，这可能是由光甲藻适宜在低光照下生长造成的^[2]。将较特殊的东越冬池除外，各月平均毛产氧量如下:

12 月 (1.40) < 1 月 (1.86) < 2 月 (2.27) < 3 月 (2.38) < 11 月 (2.47)。12 月和 1 月

表 1 越冬池水化学概况 (1979—1980 年冬)
Tab. 1 An outline of water chemistry in overwintering ponds during the winter 1979—1980

池 名	东越冬池	红旗泡	新开池	大越冬池	青龙湖	水校池	三角泡
(1) 透明度	$25 \frac{8}{55.3}$	$20 \frac{7}{45}$	$30 \frac{7}{46}$	$45 \frac{5}{52}$	$48 \frac{10}{57}$	$30 \frac{9}{59}$	$85 \frac{9}{109}$
(2) 毛产氧 毫克·升 ⁻¹ ·日 ⁻¹	$0.53 \frac{15}{4.84}$	$1.59 \frac{13}{3.42}$	$0.89 \frac{13}{2.04}$	$1.01 \frac{14}{2.76}$	$0.52 \frac{15}{1.56}$	$0.39 \frac{16}{1.64}$	$0.21 \frac{16}{1.29}$
(3) 水呼吸耗氧 毫克·升 ⁻¹ ·日 ⁻¹	$0.07 \frac{14}{1.10}$	$0.10 \frac{13}{0.87}$	$0.19 \frac{13}{0.63}$	$0.31 \frac{14}{0.76}$	$0.17 \frac{15}{0.49}$	$0.04 \frac{16}{0.30}$	$0.05 \frac{16}{0.41}$
DO 毫克·升 ⁻¹	$7.48 \frac{18}{15.18}$	$12.21 \frac{16}{17.66}$	$5.66 \frac{16}{10.22}$	$7.40 \frac{14}{12.90}$	$2.88 \frac{17}{6.64}$	$5.20 \frac{17}{10.12}$	$5.40 \frac{17}{10.78}$
COD 毫克·升 ⁻¹	$2.79 \frac{16}{4.36}$	$3.63 \frac{16}{7.38}$	$2.08 \frac{16}{2.99}$	$7.90 \frac{16}{10.92}$	$4.92 \frac{16}{8.51}$	$0.90 \frac{16}{3.88}$	$3.29 \frac{17}{4.59}$
NH ₄ ⁺ -N 毫克·升 ⁻¹	$0 \frac{17}{0.046}$	$0 \frac{17}{0.182}$	$0 \frac{17}{0.049}$	$0 \frac{17}{0.138}$	$0.096 \frac{17}{0.671}$	$0.002 \frac{17}{0.219}$	$0.02 \frac{17}{0.234}$
PO ₄ -P 毫克·升 ⁻¹	$0.006 \frac{17}{0.026}$	$0.006 \frac{17}{0.044}$	$0.006 \frac{17}{0.028}$	$0 \frac{17}{0.041}$	$0 \frac{17}{0.021}$	$0.013 \frac{17}{0.092}$	$0.007 \frac{17}{0.095}$
NO ₃ ⁻ -N 毫克·升 ⁻¹	$0.006 \frac{16}{0.066}$	$0.005 \frac{16}{0.044}$	$0.014 \frac{16}{0.17}$	$0.022 \frac{16}{0.074}$	$0.034 \frac{17}{0.211}$	$0.011 \frac{16}{0.036}$	$0.011 \frac{17}{0.057}$
SiO ₂ 毫克·升 ⁻¹	$12.6 \frac{15}{16.7}$	$6.5 \frac{14}{15.1}$	$12.2 \frac{14}{16.3}$	$0.3 \frac{15}{8.4}$	$0.8 \frac{15}{10.4}$	$6.3 \frac{16}{19.1}$	$3.3 \frac{15}{19.6}$

(1) Transparency

(2) Gross oxygen production, mg · l⁻¹ · d⁻¹(3) Oxygen consumption by water respiration, mg · l⁻¹ · d⁻¹

份的毛产氧量最低,是与这一时期日照短有关的。

越冬池水呼吸的主要构成看来是浮游植物,因为水呼吸耗氧(Y 毫克/升·日)与浮游植物现存量(x)间存在着紧密相关:

$$\hat{Y} = 6.32 \times 10^{-3}x + 0.379 \quad (2)$$

$$n = 105, r = 0.50, t = 5.86 > t_{0.001} = 3.4$$

比较方程(1)、(2)的相关系数,表明水呼吸与浮游植物现存量的相关性不如毛产氧量与浮游植物现存量的相关性更紧密。

水呼吸耗氧(Y)与毛产氧量(x)之间有如下关系:

$$\hat{Y} = 0.157x + 0.251 \quad (3)$$

$$n = 110, r = 0.635, t = 8.54 > t_{0.001} = 3.4$$

两者在 $\alpha = 0.001$ 的显著性水平上有紧密相关。这是因为两者都同浮游植物现存量有紧密的正相关。平均看来,随着浮游植物量的增加,毛产氧增加量是水呼吸增加量的 6.4 倍。

(五) 补偿深度

我们这里讲的补偿深度是在池塘生境中微型生物群落光合作用日产氧和日呼吸耗氧相等的水层深度。1980年11月底到1981年3月初在8个越冬池中共进行了15次测定(图7示出了3个典型数据)。所得补偿深度的范围为0.47—2.9米,平均 1.24 ± 0.56 米。其中最高值2.9米是在一全用井水的越冬池(生产池)中藻类尚未发展起来时所测得。3天后该池透明度即由92—100厘米降为61—75厘米,补偿深度变为1.06米。若将2.9米列为例外,则变幅为0.47—1.52,平均 1.13 ± 0.35 米。1.13米可视为哈尔滨地区搞生物增氧的越冬池的平均补偿深度。

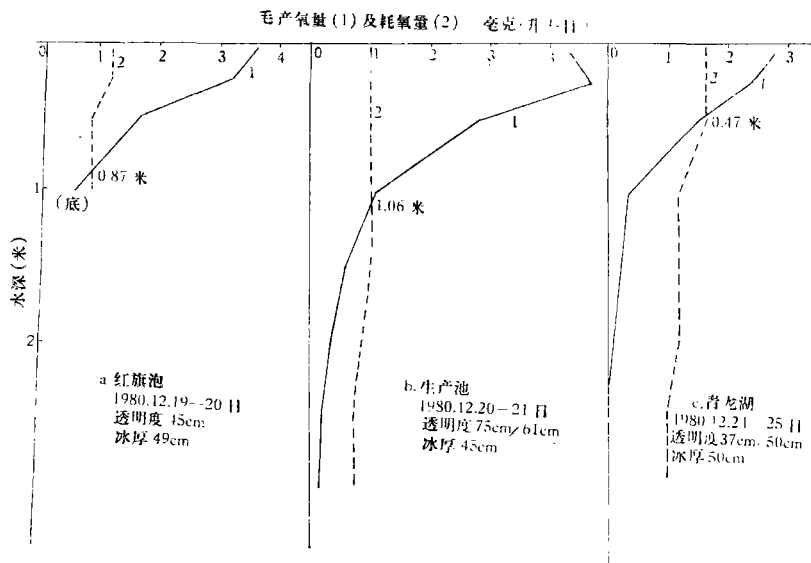


图7 毛产氧及水呼吸耗氧随深度的变化

Fig. 7 The gross oxygen production and oxygen consumption by water respiration changing with depth

11 月底至 12 月初及 2 月底所测补偿深度一般较大, 而 12 月中下旬和 1 月份的补偿深度较小, 表明补偿深度与日照长短有一定关系。

据哈尔滨地区补偿深度和透明度的资料, 除去浮游动物(犀轮虫)极多的一次数据外, 补偿深度 (Y , 米)与透明度 (x , 米)在 $\alpha = 0.05$ 的显著性水平上有正相关:

$$\hat{Y} = 1.526x + 0.322 \quad (4)$$

$$n = 14 \quad r = 0.57 \quad t = 2.40 > t_{0.05} = 2.18$$

在补偿深度的测定中, 最大产氧层有 8 次是在冰下 0.2—0.5 米深处。产生这种现象的主要原因, 我们认为是光抑制作用。Maeda 等^[6]在 Haruna 湖发现了冰下光照对藻类的抑制现象, 他指出在紧贴冰下水层中藻类的饱和照度为 $1 \times 10^4 \text{lx}$, 达 $2 \times 10^4 \text{lx}$ 时即起抑制作用。我们也发现了冰下浮游植物有避强光、趋弱光的习性^[2], 间接证明了冰下光抑制现象的存在。

对补偿深度的探讨, 从理论上说明了搞生物增氧的越冬池过深, 对保持较好的氧气状态是不利的。藻类生物量大时, 水越深越不利。图 7 所示的红旗泡就是水深仅 1.8 米(含冰厚)的浅水越冬池, 氧气状况一直很好, 因它在补偿深度以下的水层很少。青龙湖则是氧气状况不好的越冬池, 从图中可以看出它补偿深度以下的水层太厚。

(六) 底质耗氧率

从测定所得数据看(表 2)现场 3 个池底质耗氧率的平均值为 0.40 克/米²·日, 比培育期底质耗氧率要小得多(日本养鳗池底泥耗氧率为 1.1—13.2 克/米²·日^[3], 苏联养鲤池为 0.4—1.0, 美国一些养鱼池底质耗氧平均为 1.46 克/米²·日^[4]), 但在越冬池的产氧、耗氧水平都低的情况下, 此值就相当可观。因此底质耗氧是越冬池耗氧的一个重要方面。室内的结果比现场的约低一半, 其原因可能是: ①取回室内的泥是沉淀较久的密实部分, 新沉积在表层尚未经生物稳定的稀泥取不回来, 因而耗氧较小; ②现场测定的结果可能偏高, 因在池中安放测定装置时难免将泥搅起, 使耗氧增大。

表 2 底质耗氧速率(克/米²·日)

Tab. 2 Rate of oxygen consumption of bottom mud ($\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$)

测定方式 (1)	池名 (2)	泥温 (3)°C	测定次数 (4)	耗氧率范围 (5)	平均值 (6)	备注
现场 Field	丰产塘	1.2	12	0.20—0.54	0.37±0.11	老池
	水校池	2.0	3	0.30—0.60	0.45±0.12	新池
	青龙湖	1.4	4	0.26—0.49	0.38±0.09	老池
室内 Indoors	丰产塘	3.0	1	0.19	0.19	每年晒底的老池
	三角泡	3.0	4	0.10—0.18	0.14±0.04	
	青龙湖	2.0	10	0.12—0.32	0.19±0.07	

(1) Ways of measurement

(2) Name of ponds

(3) Mud temperature

(4) Times of measurement

(5) Ranges of oxygen consumption rate

(6) Average

表 3 越冬池水化学概况 (1980—1981 年冬)单位: 毫克/升, mg/l
Tab. 3 An outline of water chemistry in overwintering ponds during the winter 1980—1981

池 名 水质	东越冬池	亲 鱼 池	红 旗 泡	新开一池	新开三池
DO	$8.82 \frac{10}{15.95} 25.54$	$8.00 \frac{10}{12.11} 17.38$	$8.49 \frac{10}{17.34} 25.29$	$7.43 \frac{10}{13.91} 20.92$	$11.28 \frac{9}{25.06} 32.6$
COD	$2.96 \frac{9}{4.44} 6.20$	$1.24 \frac{7}{2.74} 3.87$	$5.19 \frac{8}{9.65} 13.0$	$2.10 \frac{8}{3.67} 5.58$	$1.56 \frac{9}{3.54} 6.12$
NH ₄ ⁺ -N	$0 \frac{10}{0.15} 0.42$	$0.024 \frac{10}{0.12} 0.30$	$0.26 \frac{10}{1.29} 2.00$	$0.02 \frac{10}{0.12} 0.33$	$0 \frac{10}{0.21} 0.48$
PO ₄ -P	$0 \frac{10}{0.01} 0.25$	$0 \frac{10}{0.021} 0.12$	$0 \frac{10}{0.031} 0.192$	$0 \frac{10}{0.014} 0.019$	$0 \frac{10}{0.033} 0.169$
NO ₃ ⁻ -N	$0.009 \frac{9}{0.08} 0.12$	$0.181 \frac{9}{0.48} 0.74$	$0.092 \frac{9}{0.16} 0.26$	$0 \frac{9}{0.07} 0.14$	$0.014 \frac{9}{0.26} 0.50$
NO ₂ ⁻ -N	$0 \frac{10}{0.0033} 0.0096$	$0.0016 \frac{10}{0.0039} 0.0063$	$0.008 \frac{10}{0.005} 0.013$	$0 \frac{10}{0.0022} 0.0048$	$0 \frac{10}{0.0035} 0.008$
SiO ₂	$11.7 \frac{10}{16.4} 23.1$	$9.4 \frac{10}{15.31} 19.2$	$4.9 \frac{10}{14.46} 22.1$	$0 \frac{10}{3.39} 9.1$	$15.6 \frac{10}{18.8} 23.3$
T. P. (平均)	0.142	0.077	0.20	0.084	0.13
T. N. (平均)	2.75	2.14	2.92	1.62	2.89

(续表3)

池 名	大越冬池	生产池	三角池	青 龙 湖	水 校 池	市 所 池
水 质						
DO	$4.88 \frac{10}{9.70} 12.81$	$11.36 \frac{10}{24.24} 33.69$	$4.16 \frac{10}{7.19} 12.16$	$4.87 \frac{10}{7.38} 10.88$	$7.68 \frac{10}{10.09} 13.02$	$7.73 \frac{10}{12.39} 23.76$
COD	$4.32 \frac{9}{7.60} 10.60$	$1.24 \frac{10}{2.63} 6.15$	$3.27 \frac{9}{5.21} 6.25$	$4.83 \frac{9}{7.95} 11.50$	$3.04 \frac{9}{4.92} 10.85$	$2.95 \frac{8}{7.50} 9.88$
NH_4^+-N	$0.69 \frac{10}{1.03} 1.76$	$0 \frac{10}{0.15} 0.59$	$0.08 \frac{10}{0.48} 0.95$	$0.2 \frac{10}{1.20} 1.68$	$0.042 \frac{10}{0.34} 0.91$	$0.08 \frac{10}{0.40} 0.95$
$\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$	$0 \frac{10}{0.048} 0.208$	$0 \frac{10}{0.049} 0.188$	$0.0024 \frac{10}{0.073} 0.13$	$0 \frac{10}{0.024} 0.054$	$0.082 \frac{10}{0.125} 0.18$	$0.004 \frac{10}{0.015} 0.044$
NO_3^--N	$0.03 \frac{9}{0.05} 0.09$	$0.025 \frac{9}{0.97} 1.28$	$0.065 \frac{9}{0.13} 0.23$	$0.032 \frac{9}{0.34} 0.44$	$0.032 \frac{10}{0.06} 0.032$	$0.011 \frac{9}{0.041} 0.065$
NO_2^--N	$0.0008 \frac{10}{0.002} 0.0032$	$0.0068 \frac{10}{0.0104} 0.016$	$0 \frac{10}{0.002} 0.0024$	$0.0008 \frac{10}{0.0061} 0.0145$	$0 \frac{10}{0.0016} 0.0056$	$0.0008 \frac{10}{0.0622} 0.0048$
SiO_2	$7.2 \frac{10}{14.8} 22.8$	$14.4 \frac{10}{17.7} 22.6$	$5.8 \frac{10}{14.6} 21.1$	$4.1 \frac{10}{12.6} 19.1$	$18.0 \frac{10}{23.8} 28.4$	$5.2 \frac{10}{14.08} 26.2$
T. P. (平均)	0.24	0.14	0.19	0.22	0.36	0.43
T. N. (平均)	3.07	2.49	2.16	3.22	1.14	2.43

通过观测发现,底质的耗氧率主要不取决于底泥淤积的厚薄,而在于新淤积的稀泥中耗氧物的多寡和泥的密实程度。为减少越冬池底质耗氧,采用越冬前晾晒池底及施放石灰,使底质表层氧化并变得密实的做法是值得提倡的,而耗工耗资的清淤并非必要。

(七) 化学耗氧量

各池化学耗氧量(COD_{Mn})的数据汇总于表 1 及表 3。

图 8 是部分越冬池 COD_{Mn} 的变化曲线,各池 COD_{Mn} 数据波动较大。1979—1980 年冬,除封冰前因投喂过多造成过缺氧死鱼的大越冬池外,各池 COD_{Mn} 均无明显增加趋势,

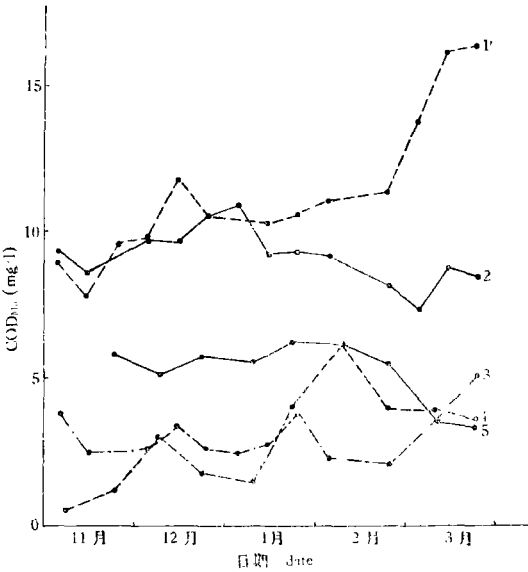


图 8 部分越冬池 COD_{Mn} 的变化

Fig. 8. The changes of COD_{Mn} of some overwintering ponds

仅在各自的水平上波动,而大越冬池的 COD_{Mn} 在越冬期间增加了约 8 毫克/升。1980—1981 年冬的 11 个池中有 10 个池的 COD_{Mn} 呈增加趋势,但增加幅度不大(图 8, 生产池)。凡用培育期老水多的越冬池, COD_{Mn} 值均较高(多为 6—10 毫克/升),全部灌注井水的, COD_{Mn} 值则较低(多为 2—5 毫克/升)。两冬 18 个越冬池的平均值为 5.77 毫克/升。

1980—1981 年冬分别作了离心与摇匀水样 COD_{Mn} 的对比测定(表 4), 103 个离心水样与摇匀水样 COD_{Mn} 值的比值平均为 0.68 ± 0.18 , 比无锡河埭大队高产鱼池的 0.47^[4] 高了许多, 表明越冬池中溶解有机物占的比例相对增大, 这是由于水中悬浮有机物大为减少。

各池 COD_{Mn} (Y 毫克/升) 与浮游植物现存量间无相关, 而与浮游动物现存量

(x, 毫克/升)在 $\alpha = 0.01$ 的显著性水平上有正相关:

表 4 离心水样与摇匀水样 COD_{Mn} 的比值 f

Tab. 4 The ratio of COD_{Mn} of centrifugal water sample to that of well shaken water sample

池 名	f	池 名	f
新开一池	0.66±0.12(8)	红旗泡	0.72±0.10(8)
新开三池	0.57±0.17(9)	市所池	0.68±0.19(8)
亲鱼池	0.54±0.16(7)	青龙湖	0.64±0.18(9)
东越冬池	0.58±0.20(9)	三角泡	0.68±0.18(9)
生产池	0.63±0.18(9)	水校池	0.68±0.15(9)
大越冬池	0.70±0.21(9)	丰产塘	0.78±0.13(9)

12 个越冬池平均 0.655 ± 0.065 , 103 个数据平均为 0.657 ± 0.181 。

* 士号后为标准差, 括号中的数字为数据个数。

$$\hat{Y} = 2.079 \lg x + 5.487 \quad (5)$$

$$n = 205 \quad r = 0.385 \quad t = 5.94 > t_{0.01} = 2.6$$

(八) 营养元素及 pH 值

营养盐类的数据汇列于表1及表3。图9是两个典型的生物增氧越冬池的营养盐和pH的变化曲线。红旗泡是大量使用原池老水的浅水越冬池,生产池则是全部由井水灌注的较深的越冬池。从这两池可以看出变化的概况。

1. pH 值

多数越冬池的pH值在封冰初期都有明显上升,以后有所下降,到1月底以后又上升,类似红旗泡(图9)。氧气状况好的,越冬期间pH的总趋势是上升的,有的上升幅度还比较大,例如可上升0.85。反之,则有下降的趋势,但下降幅度不大,约0.2—0.3。哈尔滨地区各越冬池的pH多在7.5—8.5之间。

2. 铵氮(毫克 N/升)

含量变化范围在0—2之间。1979—1980年冬平均为0.19,1980—1981年冬平均为0.54,比前一年高许多。越冬池铵氮的含量水平与变动有如下特点:

(1) 含量的高低同池水来源有关。大量注入培育池老水或兼有污水流入的,如青龙湖、红旗泡、大越冬池,含量普遍较高。全部灌注井水的含量则较低,如新开一、三池及生产池。

(2) 铵氮含量(x)与浮游植物现存量(Y)在 $\alpha = 0.05$ 的显著性水平上存在负相关:

$$\hat{Y} = 42.29 - 16.69x \quad (6)$$

$$n = 201, \quad r = -0.16 \quad t = 2.28 > t_{0.05} = 1.18$$

(3) 在整个越冬期间未见到越冬池中的铵氮有积累现象。相反,常常是下降的,因为被浮游植物消耗了。

3. 硝酸氮(毫克 N/升)

越冬池硝态氮含量的平均值多数在0.1以下。1979—1980年冬平均为0.095;除生产池外,1980—1981年冬平均为0.176。多数越冬池硝态氮的变化平缓,少数变化大。生产池硝态氮平均为0.97,长时间保持着高含量。其原因是它修建在一个旧蓄粪池上并第一年投入使用。

4. 亚硝酸氮(毫克 N/升)

含量较低,最高为0.013,最低检测不出。1979—1980年冬平均为0.0025,1980—

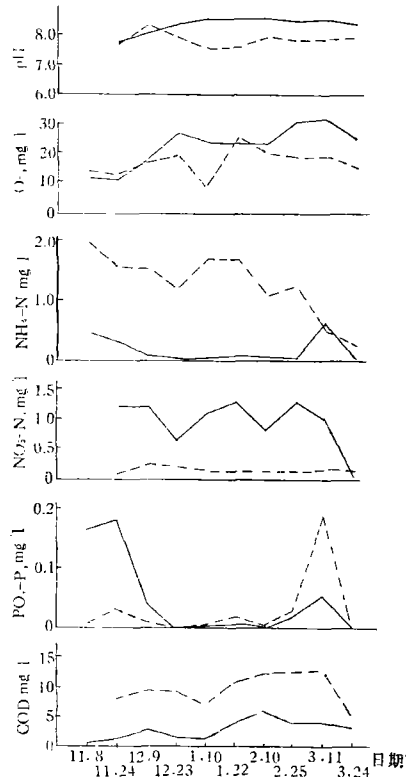


图9 两个典型越冬池的水质比较

Fig. 9. Water quality comparison of two typical overwintering ponds

——生产池 - - - - -红旗泡

1981年冬平均为0.0029。铵氮、硝酸氮较高的越冬池,亚硝酸氮一般也较高。

5. 磷酸盐(活性磷,毫克P/升)

1979—1980年冬含量平均为0.049,最高0.18;1980—1981年冬平均为0.040,最高0.125,两年最低时都检测不出。

哈尔滨地区许多越冬池活性磷常常低到检测不出,但尚未发现因缺磷而溶氧下降的现象。磷在吉林许多地方的越冬池中成了光合作用的限制因素,施磷在这些地区有促进光合作用速率的效果。沙河水库10号越冬池就是施无机肥(氮、磷)后收到良好效果的一例(图6)。

活性磷含量(x)与浮游植物现存量(Y)在 $\alpha = 0.01$ 的显著性水平上存在负相关:

$$\hat{Y} = 4.391 - 50.8x \quad (7)$$

$$n = 209 \quad r = -0.188 \quad t = 2.75 > t_{0.01} = 2.58$$

6. 硅酸盐(毫克SiO₂/升)

含量相当丰富,除2个池外,各地平均含量均在10以上。全部数据的平均值为16.22。用于越冬池水源的井水中硅酸盐含量都很丰富,在17—26之间,这可能是各池硅酸盐含量高的原因。

参 考 文 献

- [1] 中国医学科学院卫生研究所, 1973。水质分析法。卫生出版社。
- [2] 李永函等, 1985。越冬池冰下浮游生物的研究。水生生物学报, 9(2): 117—128。
- [3] 湛江水产专科学校主编, 1980。淡水养殖水化学。64页。农业出版社。
- [4] 雷衍之等, 1983。无锡市河埭口高产鱼池水质的研究, I 水化学和初级生产力。水产学报, 7(3): 185—198。
- [5] Bennett, G. W., 1962. Management of artificial lakes and ponds. p. 50—51, Reinhold Publishing Corporation, New York.
- [6] Maeda, O. and S. Ichimura, 1973. On the high density of a phytoplankton population found in a lake under ice. *Int. ges. Hydrobiol.*, 58: 673—685.
- [7] Uhlmann, D., 1978. *Hydrobiology*. p. 39, John Wiley and Sons Ltd.
- [8] Константинов, А. С. 1979. *Общая Гидробиология*. стр. 375. Москва.
- [9] Суховерхов, Ф. М. и А. П., Сиверцов, 1975. *Прудовое рыбоводство*. стр 137. Москва.

STUDIES ON THE PHYSICAL AND CHEMICAL FACTORS OF OVERWINTERING FISHPONDS COVERED WITH ICE

Lei Yanzhi

and

Zhang Guilan

(Dalian Fishery College, Dalian)

(Heilong River Fishery Institute, Haerbin)

Abstract

This paper presents the results of investigation on the physical and chemical conditions of overwintering fishponds in northeastern China. They may be summarized as follows:

1. The bottom water temperatures usually ranged $1-3.5^{\circ}\text{C}$. The minimum value (1.03°C) occurred in February. The water temperatures in ponds that were aerated by means of pumping tended to be lower than 0.5°C .

2. Under clear ice the period at which the illumination intensities reach several to even more than ten thousands lux lasts 6—7 hrs. a day. Under turbid ice the maximum illumination intensity may also reach 3,000 lux, so there is still a large potentiality of oxygen production under such condition.

3. The gross photosynthesis under clear ice is 2.34 ± 2.11 ($0.21-12.45$) $\text{mgO}_2/\text{l.d.}$. The compensation depth averages 1.13 ± 0.3 m. The oxygen consumptions of bottom mud and of pond-water due to respiration average 0.40 and 0.62 ± 0.52 ($0.04-3.76$) mg/l. respectively.

4. The mean contents of ammonia in the ponds range 0.05—1.29 mg/l. The average total contents of ammonia in 1979 and 1980 were measured to be 0.19 and 0.54 mg/l. respectively. The average contents of nitrate are usually not more than 0.10 mg/l. The contents of nitrite are very low, being 0.013 mg/l. in maximum and 0.0027 in average. The contents of phosphate in 1979 and 1980 were 0.049 and 0.040 mg P/l. respectively.

5. The rate of photosynthesis under ice is increasable when applying inorganic fertilizer.

In addition to results given above the optimum depth and the management technology of water quality are discussed in this paper. The phenomena of light inhibition under the ice and the restriction of carbon dioxide and nutrient salts to the photosynthesis are also mentioned.

Key words

overwintering fishponds, physical and chemical conditions