

高产鱼塘分子氨变化规律的研究

王洪起

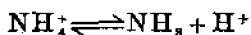
(天津市环境保护研究所)

摘要 本文研究了高产鱼塘分子氨含量昼夜变化、垂直变化的规律性。结果表明,晴天分子氨含量昼夜变化明显。以早晨含量最低,下午2—3点含量最高,此后含量逐渐减低;而晴天下午2—3点上层分子氨含量最高,中层次之,下层最低,垂直分布差别明显。夜间至早晨,上、中、下三层分子氨含量相近。阴天分子氨含量的昼夜变化、垂直变化均不明显。大风天气,分子氨含量昼夜变化明显,但垂直分布差别不大。文中还阐述了浮游植物光合作用,鱼类和浮游动物的呼吸、排泄及鱼类粪便、残饵等含氮有机物的降解对分子氨含量变化的影响。

关键词 高产鱼塘,分子氨,昼夜变化,垂直分布

前 言

在水中离子铵(NH_4^+)与分子氨(NH_3)处于动态平衡,



分子氨对鱼类具有较强的毒性,而离子铵对鱼类无毒或毒性很小^[1]。

分子氨和溶解氧一样是鱼塘水质的重要因子之一,倍受人们重视。但是,关于高产鱼塘分子氨含量及其变化规律作系统研究较少。因此,作者从1986年4月至1986年12月在上海市淀山湖水产养殖联营场,研究了高产鱼塘分子氨的昼夜变化和垂直变化。这一研究第一次阐明了不同气象条件下高产鱼塘分子氨的昼夜变化和垂直变化的规律性。

试验鱼塘概况

1. 鱼类养殖:从1985年12月开始往试验池投放鱼种,到1986年3月中旬鱼种投放完毕。6月下旬开始第一次轮捕,11月初干塘。全年放养量、毛产量、净产量见表1。鱼类饲料以豆饼、菜饼为主(平均粗蛋白含量36.1%(干重)),以水草为辅。全年投饲量、投草量见表1。

表1 鱼类养殖概况

Table 1 The cultural situation of experimental fish ponds

| 池号 | 面积(are) | 饲料(kg) | 水草(kg) | 放养量((kg/are) | 毛产量(kg/are) | 净产量(kg/are) |
|------|---------|--------|--------|--------------|-------------|-------------|
| 一排七号 | 66.67 | 13500 | 94855 | 28.6 | 122.6 | 94.0 |
| 四排四号 | 43.34 | 24300 | 240000 | 55.7 | 271.5 | 215.8 |

* 本文是在金有坤教授、陆桂教授指导下完成的;在实验过程中上海市淀山湖水产养殖联营场给予了大力协助,在此一并致谢。

收稿日期:1988年9月;1989年5月修改。

2. 鱼塘水化学: 鱼塘以淀山湖水为水源, 鱼塘水化学成份如表 2。表中各项目均按常规方法测定计算^[2,3,5]。

表 2 鱼塘水化学成份

单位: $\frac{me/L}{mg/L}$

Table 2 Chemical composition in the water of experimental fish ponds

| 池号 | Cl ⁻ | HCO ₃ ⁻ | SO ₄ ⁻ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | K ⁺ +Na ⁺ | 总含盐量 | PO ₄ ⁻ -P | 有机物耗氧量 |
|------|-----------------|-------------------------------|------------------------------|------------------|------------------|---------------------------------|-------|---------------------------------|--------|
| 一排七号 | 1.94 | 3.03 | 0.564 | 1.71 | 1.25 | 2.57 | 11.07 | | |
| | 68.77 | 184.3 | 27.08 | 94.39 | 15.16 | 64.35 | 394.6 | 0.122 | 13.34 |
| 四排四号 | 1.40 | 2.45 | 0.718 | 1.78 | 1.17 | 1.62 | 9.14 | | |
| | 49.60 | 149.5 | 34.47 | 35.70 | 14.27 | 40.45 | 324.0 | 0.219 | 15.68 |

3. 水质管理: 四排四号塘有二台 1.5 千瓦叶轮增氧机及 8 吋、6 吋水泵各一台, 一排七号塘有叶轮增氧机一台, 6 吋水泵一台, 根据水质和管理情况开增氧机和换水。

实 验 方 法

分子氮含量以测得的总铵(即离子铵与分子氮之和)、pH 值和水温, 按下式^[9-10]求出:

$$\text{分子氮}(\text{ppm NH}_3 - \text{N}) = \frac{\text{总铵}(\text{ppm NH}_4^+ - \text{N})}{1 + 10^{(\text{pKa} - \text{pH})}}$$

式中:

pKa——NH₄⁺ 离解常数的负对数,

$$\text{pKa} = 10.055 - 0.0325 \times T, \quad [9, 10]$$

T——水温(°C)

采样: 每隔 4 小时左右采样一次, 每次均在池中心分上层(水面以下 20cm)、中层(水面以下 100cm)和下层(距池底 40cm)各采一个样品, 分别测定总铵、水温和 pH 值, 同时记录有关的气象情况。

水温、pH 值和总铵的测定: 水温用校正后的酒精温度计采样时当场测定。pH 值和总铵是采样后, 立即带回室内测定。pH 值用 pHS-3 型 pH 计测定。总铵按奈氏比色法, 用 72 型分光光度计测定。用硫酸锌和氢氧化钠处理水样时, pH 值控制在 10.5 左右。

测 定 结 果

1. 晴天分子氮含量的变化 为验证晴天分子氮变化的规律性, 共进行了 9 次同样的测定, 其规律相同, 现以四排四号塘 8 月 17 日的测定结果为例来说明。8 月 17 日全天晴, 微风, 水温、pH 值、分子氮和总铵的测定结果如图 1 所示。

2. 阴天分子氮含量的变化 9 月 7 日全天阴, 微风。四排四号塘水温、pH 值、分子氮和总铵如图 2 所示。

3. 大风天分子氮含量的变化 9 月 16 日晚至 9 月 18 日一直是 5—6 级东北风, 晴天。9 月 17 日一排七号塘水温、pH 值、分子氮和总铵如图 3 所示。

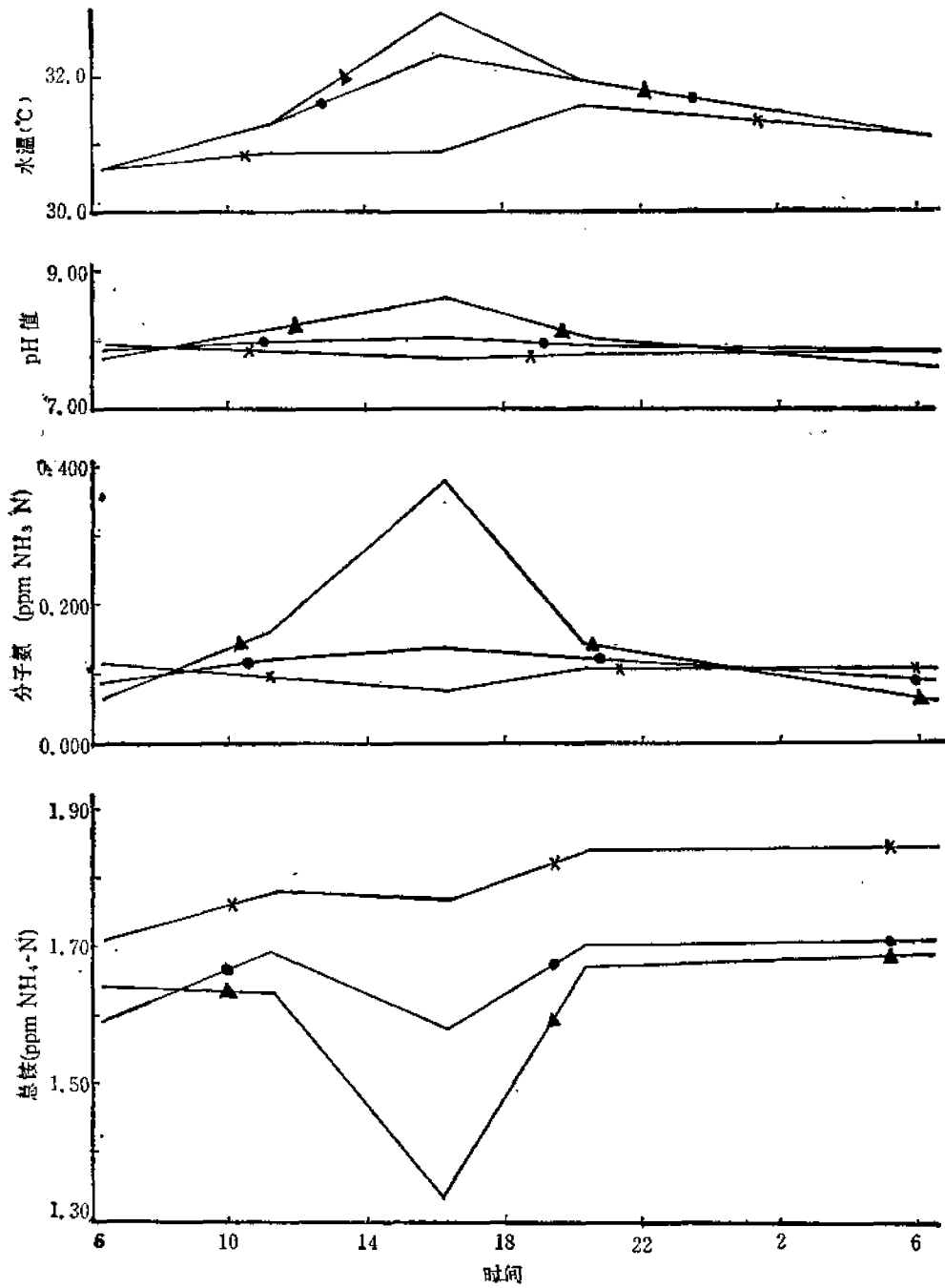


图1 四排四号塘水温、pH 值、分子氨和总铵的昼夜变化和垂直变化
(1986年8月17日06:00—18日06:00,晴天)

Fig. 1 Diurnal fluctuation and vertical distribution of water temperature, pH, non-ionized ammonia and total ammonium in the experimental fish pond No. 4, Range 4, on sunny day (17-19 August, 1986. Light breeze)

-▲-上层 -●-中层 -×-下层

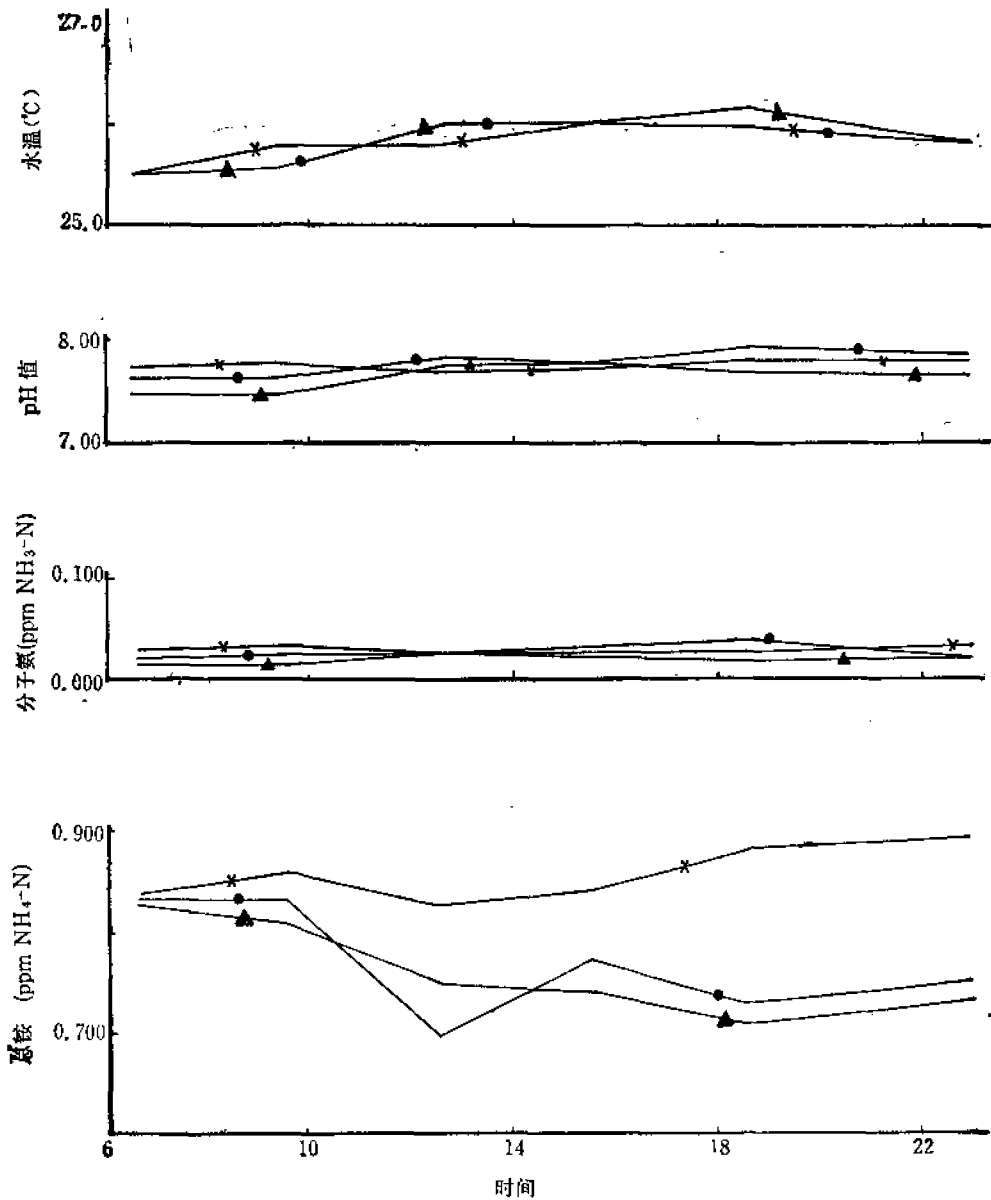


图2 四排四号塘水温、pH 值、分子氮和总铵的昼夜变化和垂直变化
(1986年9月7日0600—8日2300, 阴天, 微风) (图例如图1)

Fig. 2 Diurnal fluctuation and vertical distribution of water temperature, pH, non-ionized ammonia and total ammonia in the experimental fish pond No. 4, Range 4, on cloudy day (7-8 September, 1986. Light breeze) (The legends are the same as in fig. 1)

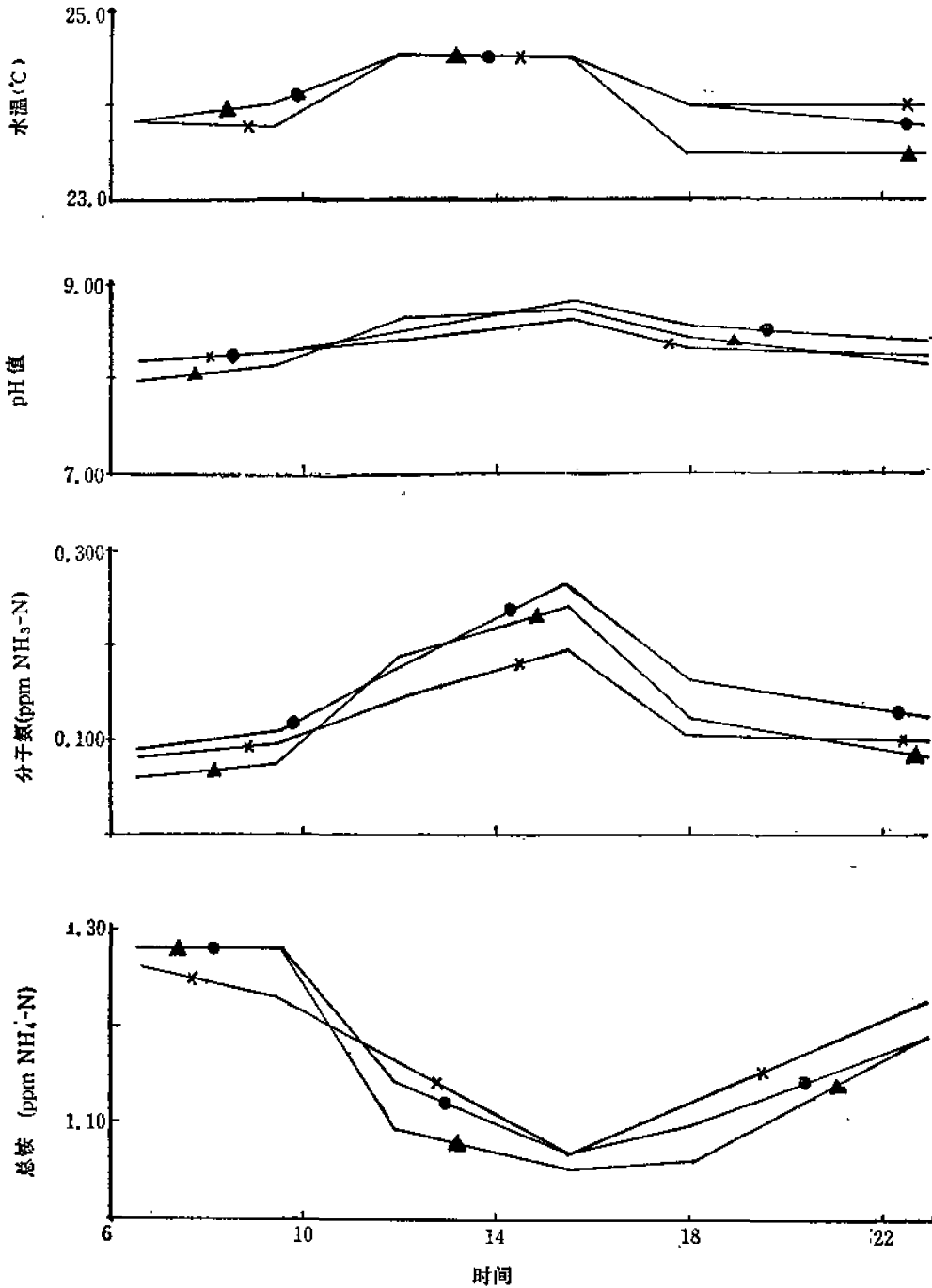
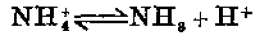


图3 一排七号塘水温、pH值、分子氨和总铵的昼夜变化和垂直变化
(1986年9月17日06:00—18日23:00,晴天,东北风5—6级)(图例如图1)

Fig 3 Diurnal fluctuation and vertical distribution of water temperature, pH, non-ionized ammonia and total ammonia in the experimental fish pond No. 7. Range 1, on windy day (17—18 September, 1986. Sunny day) (The legends are the same as in fig. 1)

讨 论

由于离子铵和分子氨随时处于下列动态平衡体系中,



所以,水温、pH 值和总铵对分子氨含量的变化均有影响。从图 1 至图 3 可以看出,池塘水温和 pH 值的昼夜变化和垂直变化是同步的,对分子氨的影响是同向的,具有加和作用。由于水体水温日较差仅 3—5°C,水温变化所引起的 pKa 值的日较差不足 0.2,而 pH 值的日较差在水体上层一般在 0.4 左右,有时可达 1.0 以上。因此,pH 值的作用远大于水温对分子氨的作用。

1. 晴天分子氨的变化规律 从图 1 可以看出,高产鱼塘分子氨含量具有明显的昼夜变化和垂直变化。早晨 6 点 15 分上层分子氨含量为 0.0686ppm, 16 点 20 分左右上层分子氨为 0.372ppm, 达全天最大值, 次日早 6 点为 0.0662ppm。上层日较差为 0.306 ppm, 昼夜变化最明显。中层分子氨含量早晨 6 点 15 分为 0.0864ppm, 16 点 20 分达 0.138ppm。中层分子氨日较差为 0.053ppm。下层分子氨含量早晨 6 点 15 分为 0.101 ppm, 16 点 20 分为 0.0736ppm。下层分子氨含量日较差最小, 仅 0.0274ppm, 昼夜变化不明显。

从图 1 还可以看出,高产鱼塘分子氨含量不仅有明显的昼夜变化,而且有明显的垂直变化。早晨 6 点 15 分上、中、下三层分子氨含量差别不大。11 点 20 分上层分子氨含量为 0.154ppm, 中层为 0.119ppm, 下层为 0.0927ppm。上层比下层高 0.061ppm。16 点 20 分上层分子氨达全天最大值, 为 0.372ppm, 中层为 0.138ppm, 下层为 0.0736ppm, 上层比下层高 0.298ppm, 垂直差别最大。16 点 20 分以后, 由于光合作用减弱, 水温逐渐下降, 上层水和下层水对流, 使池塘分子氨含量下降, 上层和下层分子氨含量又逐步趋于一致。

浮游植物在光合作用时吸收水中的二氧化碳和铵、磷等营养物质, 合成有机物, 并放出氧气, 使水中 pH 值升高, 总铵减少, 如图 1 所示^[1]。

鱼类、浮游动物呼吸消耗氧气、排出二氧化碳, 使 pH 值降低; 同时将体内含氮代谢产物主要以总铵(NH₄⁺ + NH₃)的形式由鳃排出体外。鱼类、浮游动物排泄总铵, 使水中总铵含量增加^[4,6,7]。

鱼类粪便、残饵和淤泥中其他含氮有机物在降解过程中产生有机酸, 降低水中 pH 值; 同时在有机物降解过程中也产生大量的离子铵, 这些离子铵溶解在淤泥间隙的水中, 通过扩散作用和淤泥的搅动进入水体, 成为水中总铵的一个重要来源^[1,5]。

浮游植物光合作用, 鱼类和浮游动物的呼吸和排泄, 鱼类残饵和粪便等有机物的分解影响了水中 pH 值和总铵含量。因此这些因素必然对分子氨含量的变化产生影响。

浮游植物的光合作用, 鱼类和浮游动物的呼吸和排泄、鱼类残饵和粪便以及淤泥中含氮有机物的降解对分子氨含量的影响可图示如下:

从图 4 (图内数字表示影响分子氨含量的作用步骤, 箭头表示作用的方向) 可以看出, 浮游植物的光合作用对分子氨含量的变化具有双重作用: (1) 光合作用消耗了水中的二氧

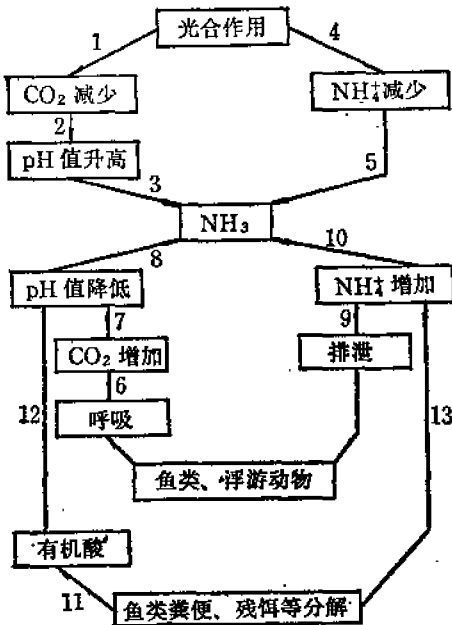


图4 光合作用、鱼类和浮游动物、鱼类粪便和残饵等对分子氨的影响

Fig. 4 Effects of the photosynthesis of phytoplankton, the respiration and the excretion of fish, and the decomposition of fish faces and other organic substance on the non-ionized ammonia concentration

化碳,使水中 pH 值升高,使分子氨在总铵中的比例增加,具有使分子氨含量升高的作用,如作用步骤 1、2、3 所示。(2)光合作用吸收了水中的离子铵,使水中总铵含量减少,因而又具有使分子氨减少的作用,如作用步骤 4、5 所示。

鱼类、浮游动物对分子氨含量的变化也具有双重作用:(1)鱼类、浮游动物在呼吸过程中放出二氧化碳,使 pH 值下降,降低了分子氨在总铵中的比例,具有使分子氨含量减少的作用,如作用步骤 6、7、8 所示。(2)鱼类、浮游动物在代谢过程中,含氮废物多数以总铵的形式排出体外,使水中总铵含量增加,具有使分子氨含量升高的作用,如作用步骤 9、10 所示。

鱼类粪便、残饵和淤泥中含氮有机物对分子氨含量的变化具有以下的双重作用:(1)这些有机物在分解过程中产生一定量的有机酸,使水中 pH 值降低,具有使分子氨含量减少的作用,如作用步骤 11、12、8 所示。(2)这些有机物在分解过程中还产生一定量的离子

铵,离子铵通过化学平衡作用(如前所述)使分子氨含量升高,如作用步骤 13、10 所示。

在光合作用升高 pH 值和鱼类、浮游动物呼吸排出二氧化碳,有机物分解产生有机酸降低 pH 值的矛盾中,从早晨开始由于光合作用强度逐渐增加,光合作用升高 pH 值的作用越来越大大于鱼类、浮游动物呼吸、有机物分解产生有机酸降低 pH 值的作用,使 pH 值逐渐升高,到 16 点前后 pH 值达全天最大值。16 点左右光合作用强度开始减弱,鱼类、浮游动物呼吸、有机物分解产生有机酸降低 pH 值的作用超过光合作用升高 pH 值的作用,使 pH 值逐渐降低。在夜间光合作用停止,鱼类、浮游动物等呼吸,有机物分解产生的有机酸,使 pH 值降低。pH 值昼夜变化如图 1 所示。在早晨至 16 点左右这段时间里,光合作用升高 pH 值的作用占主导地位,鱼类、浮游动物等呼吸,有机物分解产生有机酸降低 pH 值的作用为次要地位;在 16 点左右鱼类、浮游动物等呼吸,有机物分解产生有机酸降低 pH 值的作用开始逐渐成为主导因子,而光合作用升高 pH 值的作用则变为次要因子。

在光合作用吸收离子铵、降低水中总铵含量和鱼类、浮游动物排铵、有机物分解产生离子铵、增加水中总铵含量的这个矛盾中,在早晨至 16 点左右这段时间里,鱼类、浮游动物排铵,有机物分解产生的离子铵不断进入水中,但由于光合作用的耗铵量大于鱼类、浮游动物和有机物等增铵量,使水中总铵减少。随着光合作用增强,耗铵量越来越大,在 16 点左右,水中总铵达全天最低值。16 点左右,光合作用开始减弱,耗铵量逐渐减少。最

后,鱼类、浮游动物、有机物的增铵作用逐渐大于光合作用的耗铵作用,水中总铵含量逐渐升高,夜间光合作用停止,只存在鱼类、浮游动物、有机物分解的增铵作用。总铵的昼夜变化曲线如图 1 所示。从图 1 可以看出,在早晨至 16 点左右这段时间里,光合作用耗铵作用大于鱼类、浮游动物、有机物等的增铵作用而成为主导因子;在 16 点左右,鱼类、浮游动物、有机物等的增铵作用开始成为主导因子,而光合作用耗铵作用成为次要因子。

上述分析表明,从早晨至 16 点左右这段时间里,光合作用对 pH 值和总铵的变化起主要作用;从 16 点左右起,光合作用开始减弱,鱼类和浮游动物的呼吸、排泄,有机物的分解逐渐对 pH 值、总铵的变化起主要作用。

图 4 表明,光合作用本身存在着升高 pH 值、增加分子氮和消耗总铵、降低分子氮的矛盾。在光合作用起主要作用的这段时间里(早晨至 16 点),浮游植物光合作用强度的变化直接影响着分子氮含量的变化。从图 1 可以看出,从早晨 6 点 15 分上层总铵为 1.63 ppm,随着光合作用强度增加、总铵逐渐减少,到 16 点 20 分上层总铵为 1.33 ppm。另一方面,随着光合作用增加,水中 pH 值升高,6 点 15 分时上层 pH 值为 7.78,16 点 20 分时上层 pH 值为 8.58。分子氮占总铵的比例,早晨 6 点 15 分为 4.76%,16 点 20 分时为 27.6%。由此可见,虽然总铵含量在减少,但由于水温、pH 值升高,分子氮在总铵中的比例迅速增大。因此,在光合作用起主导作用的这段时间里,水温、pH 值升高、增加分子氮的作用大于总铵降低减少分子氮的作用,光合作用的最终结果导致分子氮含量增加。

从 16 点左右开始,光合作用减弱,鱼类和浮游动物的呼吸、排泄,有机物等的分解逐渐成为影响分子氮含量变化的主要矛盾。如图 4 所示,鱼类和浮游动物的呼吸、排泄,有机物等的分解存在着降低 pH 值、减少分子氮与增加总铵含量、增加分子氮含量的矛盾。在这个矛盾中,pH 值下降对分子氮的影响大于总铵含量增加对分子氮的影响,分子氮含量随 pH 值的下降而减少,如图 1 所示。

综上所述,高产鱼塘分子氮含量的昼夜变化是浮游植物光合作用,鱼类和浮游动物呼吸、排泄,有机物的分解等因素所形成的多重矛盾共同作用的结果,其中 pH 值的变化起了重要作用。

上层浮游植物光合作用强烈、pH 值昼夜变化大,分子氮含量昼夜变化明显;中层总铵含量虽然高于上层。但中层光合作用强度不如上层高。pH 值比上层低,日较差比上层小。因而分子氮含量比上层低,且昼夜变化不如上层明显;池塘下层近于无光,几乎不进行光合作用,pH 值比上层、中层低,且昼夜变化小,虽然总铵含量高于上层和中层,但分子氮含量最低、且基本恒定,有时也有一点波动,可能是由于上、下层水的对流混合引起的。

综上所述表明,在晴天高产鱼塘分子氮和溶解氧一样具有明显的昼夜变化和垂直变化。而且也是由于光合作用和鱼类呼吸、排泄等活动互相作用引起的。可见在高产鱼塘这一生态系统中,分子氮、总铵、pH 值和溶解氧的昼夜变化和垂直变化规律都是水中浮游植物光合作用的必然结果。

2. 阴天分子氮的变化规律 从图 2 可以看出,阴天分子氮的昼夜变化和垂直变化的规律与晴天完全不同。阴天浮游植物光合作用强度较低,虽然白天总铵含量有所减少,但 pH 值变化不大,分子氮在总铵中的比例变化不大。因此如图 2 所示,阴天分子氮的昼夜

变化在上层、中层、下层均不明显。上层分子氨日较差为 0.012ppm, 中层日较差为 0.0168 ppm, 下层日较差为 0.0079ppm。不同水层分子氨含量的差别也很小。可见阴天分子氨的昼夜变化和垂直变化均不明显。

3. 大风天分子氨的变化规律 图 3 表明, 在大风天不仅上层、中层分子氨含量有明显的昼夜变化, 而且由于风力作用, 加速了上、下层水的混合对流, 使下层分子氨含量也呈现明显的昼夜变化。上层分子氨日较差为 0.181ppm, 中层日较差为 0.178ppm, 下层日较差为 0.115ppm。上、中、下三层分子氨昼夜变化均明显。

从垂直变化来看, 早晨和傍晚上、中、下三层分子氨含量的差别不大, 这与无风天气时一样。但在 15 点 30 分左右, 上层与下层、中层与下层分子氨含量之差分别为 0.043ppm, 0.070ppm, 差别也不明显。

以上探讨了不同天气条件下的高产鱼塘分子氨的变化规律。在高产鱼塘生态系统中, 分子氨含量的昼夜变化和垂直分布与溶解氧是完全相同的, 而且都与浮游植物的光合作用, 鱼类、浮游动物和有机物分解等因素有关。这些因素或使溶解氧含量升高(浮游植物光合作用), 或使溶解氧含量下降(鱼类、浮游动物的呼吸和有机物分解)。但这些因素既能使分子氨含量升高, 又能使分子氨含量下降(见图 4)。在不同的生态环境中, 可能不同的矛盾、不同的因素起主导作用。因此, 本文阐明的高产鱼塘分子氨的变化规律是否适合于其他水体, 还有待进一步研究。

参 考 文 献

- [1] 大连水产学院主编, 1985。淡水生物学(下册), 133~186。农业出版社(京)。
- [2] 中国医学科学院卫生研究所, 1973。水质分析法, 135~159。人民卫生出版社(京)。
- [3] 金有坤主编, 1986。淡水渔业水质分析法, 12~52。上海科学技术出版社。
- [4] 岩田胜哉等, 1986。鲢和鳊的氮平衡研究。水生生物学报, 10(4): 297~310。
- [5] 雷衍之等, 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): 185~198。
- [6] 川本信之, 1977。鱼类生理, 177—186。恒星社厚生阁版改订增补版。
- [7] 尾崎久雄, 1977。鱼类生理学讲座, 第 6 卷, VI 肾脏の生理, 201—206。恒星社厚生阁。
- [8] Alabaster, J. S., 1982. Water quality criteria for freshwater fish. 85—99, FAO. London, Butterworth Scientific.
- [9] Emerson, K. et al., 1975. Aqueous ammonia equilibrium calculations: effect of pH and temperature. *J. Fish. Res. Bd. Can.* 32: 2379—2388.
- [10] Trussell, R. P., 1971. The percent un-ionized ammonia in aqueous ammonia solutions at different pH level and temperature. *Ibid*, 29: 1505—1507.

THE VARIATIONAL REGULARITY OF NON-IONIZED AMMONIA CONCENTRATION IN THE WATERS OF HIGH YIELD FISH PONDS

Wang Hongqi

(Tianjin Institute of Environmental Protection Science)

ABSTRACT This paper deals with the regularity of diurnal fluctuation and vertical distribution of non-ionized ammonia concentration at different water depth in the high-yield fish ponds. The concentration of non-ionized ammonia is higher at sunny day than at cloudy day. Early in the morning of sunny day, the concentration is at minimum and it shows little difference in different water layers. In the afternoon, the photosynthesis approaches to the peak. The pH value rises and the concentration of non-ionized ammonia reaches to maximum, though the concentration of the total ammonium decreases. The concentration of non-ionized ammonia is the highest in the upper water layer and the lowest in the bottom layer. At dusk when the photosynthesis of phytoplankton becomes lower, the pH value and concentration of non-ionized ammonia decreases in the water layers, especially in the upper and middle layers, though the concentration of the total ammonium increases. At cloudy day, however, the diurnal fluctuation and the vertical distribution of non-ionized ammonia concentration at different water depth have little difference. At windy day, the variation of non-ionized ammonia concentration is also intense, but at fine day with light breeze the concentration among the different water layers has less difference. The effects of photosynthesis of phytoplankton, the respiration and excretion of fish and the decomposition of fish feces on non-ionized ammonia concentration are also discussed.

KEYWORDS high yield fish pond, non-ionized ammonia, diurnal fluctuation, vertical distribution