

从“看水”经验论养鱼水质的生物指标

何志辉

(大连水产学院)

A DISCUSSION ON THE CHINESE FISHERMEN'S EXPERIENCE OF "LOOKING UPON THE WATER" FOR ASSESSING WATER QUALITY FOR FISHCULTURE PURPOSE IN TERMS OF BIOINDICATORS

He Zhihui

(Dalian Fisheries College)

Key words: Biological indicator, water quality

水是养鱼成效最关键性的因素之一。水要肥,但是过肥了又不好,怎样科学地鉴别水的肥度是养鱼业中急待解决的一个问题。我国江、浙与两广一带鱼农在长期生产实践中积累了“看水养鱼”的宝贵经验,如果予以科学总结,找出比较合理的水质生物指标将可用以指导生产。为此目的,1970年以来我们曾多次深入江、浙、两广渔乡及生产单位学习和总结“看水”和管水的经验,并于1976—1978和1980年先后在广东佛山地区九江公社、江苏无锡河埒口公社和辽宁金州鱼种场蹲点研究。所有工作方法和结果均有专文记述¹⁾,本文仅从所得数据讨论“看水”的生物学内容和水质的生物等级。

一、水色和浮游生物

关于“看水”的报道,多数属于对水色和浮游生物种类组成的讨论。因此,首先要探讨水色和浮游生物的关系。

水色取决于许多因素,但在鱼池肥水中主要是浮游生物的大量繁殖所引起的。浮游生物大量繁殖以致水色较浓甚至出现藻团、浮膜的现象称水华(water bloom),我们在养鱼池中所见的水华,按优势种类可分为15个基本类型:

(一) 隐藻水华(*Cryptomonas* bloom) 我国鱼池肥水中最常见一种水华,全年均可出现,其出现频度在九江公社近80%,在无锡河埒口高产塘占24%^[8],在江、浙及辽宁地区

1) 大连水产学院:养鱼水质生物等级和肥度控制研究报告(内部资料,一部分已发表)。
1983年12月1日收到。

由“南方技工”管理的肥水中也几乎全是这种水华。次优势种常为小环藻 (*Cyclotella*)，蓝隐藻 (*Chroomonas*) 和绿球藻目的一些种类。水色褐、红褐、褐绿或褐青。

(二) 膜口藻水华 (*Gonyostomum* bloom) 是河埒口鱼池夏季肥水最常见的水华，出现频度达 56.6%^[8]。优势种为扁形膜口藻 (*G. depressum*)，次优势种常为隐藻和裸甲藻 (*Gymnodinium*)，有时绿球藻类也较多，水色褐青或褐绿。

(三) 裸甲藻水华 (*Gymnodinium* bloom) 由蓝绿裸甲藻 (*G. cyaneum*) 大量繁殖引起的，在河埒口和九江公社都较常见，夏秋较多，夏季常与扁形膜口藻共存。水色褐绿，褐青或铁灰，水面常有云雾状青绿色斑团，鱼农称为转水。

(四) 角藻水华 (*Ceratium* bloom) 仅在清河水库养鱼场一个养鲤池中初夏见到，优势种为飞燕角藻 (*C. hirundinella*)，水色呈不均匀的黄褐色，可见到飞燕角藻集群形成的浓褐色斑块。

(五) 颤藻或席藻水华 (*Oscillatoria* or *Phormidium* bloom) 由颤藻属和席藻属的某些种类形成的水华，水色蓝绿到灰绿，但个别种类可引起特殊的水色，如孟氏颤藻 (*O. Mougeotii*) 水华常呈黄褐色，微红颤藻 (*O. rubescens*) 水华呈红色，泥褐席藻 (*P. lucidum*) 水华呈红褐色，多在夏季出现。

(六) 鱼腥藻或拟鱼腥藻水华 (*Anabaena* or *Anabaenopsis* bloom) 由螺旋鱼腥藻 (*A. spiroides*) 或其他鱼腥藻属种类以及拟鱼腥藻属引起的水华。优势种生物量极为突出，可占总量的 95% 以上。水色蓝绿或深绿，可见到翠绿色絮状或蓝绿色浮膜。夏季出现。

(七) 微囊藻水华 (*Microcystis* bloom) 优势种为铜绿微囊藻 (*M. aeruginosa*) 和粉状微囊藻 (*M. pulvrea*)，水色蓝绿、深绿或黄绿发白。铜绿微囊藻水华水面常有蓝绿或黄绿色浮膜。主要在夏季出现。

(八) 尖头藻水华 (*Raphidiopsis* bloom) 水色蓝绿或黄绿，水面常有浮膜。夏季或初秋出现。

(九) 微型蓝球藻类水华 (u-algae bloom of Chroococcales) 由蓝球藻目一些极微型种类引起的水华。优势种常为蓝球藻 (*Chroococcus*)、棒条藻 (*Rhabdoderma*)、蓝纤维藻 (*Dactylococcopsis*)、粘球藻 (*Gloeocapsa*)、平裂藻 (*Merismopedia*) 等属的种类，水色深绿、褐绿、褐、黄绿等，夏秋较多。

(十) 团藻目水华 (Volvocales bloom) 通常由衣藻 (*Chlamydomonas*)、四鞭藻 (*Carteria*)、空球藻 (*Eudorina*)、实球藻 (*Pandorina*) 等形成的水华，隐藻和其他鞭毛藻类的数量也较多。水色绿，水面常有绿膜。全年均可出现。

(十一) 绿球藻目水华 (Chlorococcales bloom) 通常由小球藻 (*Chlorella*)、栅藻 (*Schenedesmus*)、四角藻 (*Tetraedron*)、十字藻 (*Crucigenia*)、绿球藻 (*Chlorococcum*)、空星藻 (*Coelastrum*) 等等形成的水华，隐藻等鞭毛藻类和小环藻常占一定数量。水色绿或黄绿，透明度较大。多在水浅和常施化学肥料的鱼池出现，全年均可见到。

(十二) 裸藻水华 (*Euglena* bloom) 主要由血红裸藻 (*E. sanguinea*) 形成的水华，通常隐藻和其他鞭毛藻类的数量也较多。水色绿中发红、绿色或红褐色，水面常有时红时绿的浮膜，夏秋较多。

(十三) 囊裸藻水华 (*Trachelomonas* bloom) 通常由棘刺囊裸藻 (*T. hispida*)、旋转囊

裸藻 (*T. volvocina*) 等形成水华，水面铁锈色或红褐色，多在夏秋出现。

(十四) 硅藻水华 (Bacillariophyta bloom) 主要由小环藻、针杆藻 (*Synedra*)、舟形藻 (*Navicula*)、菱形藻 (*Nitzschia*) 等形成水华，隐藻和绿球藻类通常也有较多数量。水色金褐，透明度较大。多在春秋出现。

(十五) 金藻水华 (Chrysophyta bloom) 常由棕鞭藻 (*Ochromonas*)、单鞭金藻 (*Chromulina*) 等形成水华，通常硅藻和隐藻的数量也较多。水色金褐色，透明度较大。主要在早春出现。

关于水色和浮游植物种类的关系，有过一些零碎的报道。一般说来，金藻、黄藻、硅藻、甲藻的细胞呈褐色或褐绿色，其水华也接近上述颜色；绿藻和裸藻细胞呈绿色，其水华也接近绿色；蓝藻细胞呈深绿或蓝绿色，其水华也接近深绿或蓝绿。一般认为褐色、黄色或带黄褐色的水是好水，绿色或蓝绿色的水是不好的。然而实际情况要复杂得多。

首先，同一门藻类在色素组成上虽然有其通性，但还有特殊的情况。如蓝藻门种类一般呈蓝绿或灰绿。而有些种类(孟氏颤藻、泥褐席藻等)因含较多的胡萝卜素、叶黄素和藻红素而使细胞呈黄褐、红褐或紫红等颜色。裸藻通常呈绿色；但血红裸藻细胞内有大量血红素而使水呈红褐色。有些藻类因具囊壳或被甲，水色也受壳、甲颜色的影响。

此外，同一种类的色素组成也可随生活条件的变化而改变，特别是蓝藻和绿藻，当种群达到指数增长期末时，常因养分(氮、磷、碳或微量元素)不足或其他原因而使细胞出现“老化”现象，这时叶绿素量减少而胡萝卜素和叶黄素量增多，因而使藻体发黄或呈褐色。各种藻类对光照条件的色素适应而改变颜色的现象更为常见。

根据我们的观测，金藻、硅藻、隐藻、甲藻的水华几乎都是褐、褐绿或褐青，而蓝藻、绿藻和裸藻的水华就不仅呈绿和蓝绿色，特别是蓝藻水华几乎在各种水色中都能出现。

可见，简单地从水的颜色是难以判别浮游生物的组成的，何况，水质的优劣不仅是种类组成的问题。

渔农一般都认为红褐、褐绿、褐青(墨绿)和绿色的水较好，蓝绿、深绿、灰绿、黄绿、泥黄色等则是水色不正的劣水。但广东有的地区把褐色水叫“老茶水”，认为是很差的一种水，这是因为蓝藻细胞老化后形成的水色。但是，甲藻、金藻、硅藻形成的水华也可能是褐色，而养鱼效果就很好。大致说来，施肥初期形成的褐色水是好水，中后期从其他水色转变为褐色的则是老水。

二、肥、活、嫩、爽的生物学含义

有些作者把渔农看中的好水概括为“肥、活、嫩、爽”4字。这样的概括较之仅凭水色要全面得多。然而，对这4个字的生物学含义迄今没有一个确切的概念。因此，通过浮游生物种、量测定，摸清这方面的内容是十分必要的。

(一) 肥 肥水的概念还较纷乱，或以营养盐类和溶解有机质量为根据，或以浮游生物总量为根据，或以所谓“易消化”浮游植物数量为标准。但渔农对“肥”的看法是指水色浓，也就是说浮游植物量很大，形成强烈的水华。

水色的浓淡既决定于浮游植物量，也与水层的厚薄有关。据我们初步观测，在水深1

米左右的鱼池里，浮游植物量小于 5 毫克/升时，一般水面无色，5—10 毫克/升时有轻淡的水色，10—20 毫克/升时水色较浓，20 毫克/升以上时水色很浓。

根据对无锡、菱湖、广东等地渔农认为合格的肥水的测定，浮游植物量都在 20 毫克/升以上；1977 年对河埒口 8 个高产塘 96 个浮游生物样品的测定^[8]，浮游植物量 94% 超过 20 毫克/升。而低于此界限的 6 个样品，又多数是在渔农已发觉水质不佳并采用冲水或其他措施前后采取的。

可见，20 毫克/升大致说来应是肥水的浮游植物浓度起点。

Панов 等^[21]用束丝藻所作的试验，白鲢滤食时最适的食物密度为 17 毫克/升，花鲢为 13 毫克/升。据 Бобк^[18]的材料，当水中绿藻、硅藻和裸藻的生物量达到 8—10 毫克/升以上时白鲢生长很快。据李永函等的实验观测^[1]，池水中易消化的藻类生物量在 15 毫克/升以上时，白鲢鱼种生长良好。这些数据都表明，鲢鳙营养和生长的最适食物密度应在 10—20 毫克/升之间，与上述肥水的指标相当一致。

(二) 活 指水色和透明度有变化。渔农所谓早清晚绿或早红晚绿以及半塘红半塘绿等都是这个意思。菱湖有的渔农特别强调活，认为什么水色不关紧要，只要“活”就是好水。据我们的观测^[8]，典型的活水是膝口藻水华。这种鞭毛藻类游动较快，有显著的趋光性，白天常随光照强度的变化而产生垂直或水平游动；清晨上下水层分布均匀，日出后逐渐向表层集中，中午前后大部分集中表层，以后又逐渐下沉分散。9 点和 13 点时的透明度可相差 7 厘米。当这种藻类群聚于鱼池的某一边或一隅时，就出现所谓半塘红、半塘绿的情况。其他鞭毛藻类也有类似的现象，一般在午后表层的数量均较早晨增多。

据我们近年的观察，各种鞭毛藻类几乎都是白鲢易消化的优质食物；习见的优势种类形体大小多在 10—20 微米以上，白鲢易于滤取。渔农欢迎这样的藻类是有道理的。

(三) 嫩 嫩，指水肥而不老。所谓水老还没有一个严格的含义。渔农把一切水质向反面转变几乎都叫“老”。比如由于丝状藻类或浮游动物先繁殖起来而使浮游植物量不能增长叫“老”，由于浮游生物开始大批死亡使水色发黑也叫“老”，水色死滞不活也叫“老”，水色过浓、透明度过低也叫“老”，水色不好或不正也叫“老”，但是作为嫩的对立面来看，“老”应指最后一种情况，即水色变坏。这种变坏主要有两种征象：(1)水色发黄或发褐色；(2)水色发白。

水色发黄或发褐色情况就是前面已指出的藻类细胞老化的现象。广东所谓的老茶水(黄褐色)和黄蜡水(枯黄带绿)也属此类。在水色发黄或发褐前后，主要种类没有明显变化。例如，金州鱼种场 301 号池 7 月 26 日水色深绿，主要藻类为粉状微囊藻、蓝纤维藻和颤藻。27 日水色变为黄褐色，但优势种仍是上述 3 种。施氮肥后到 30 日水色又转为深绿，而优势种仍不变。显然，这是蓝藻在缺氮情况下细胞老化、胡萝卜素和叶黄素增多的一种现象。

水色隐约发白的水中，主要是蓝藻、特别是那些极小型蓝藻孽生的一种征象。这种水的特点是 pH 很高(9—10 以上)和透明度很低(通常低于 25—20 厘米)。

总之，“嫩”就是要求水质肥而不老，指形成水华的藻类细胞未老化并且蓝藻含量不

1) 李永函、何幽峰，1979。池塘浮游生物与鲢鳙鱼种生长的关系。辽宁淡水渔业，第 3 期。

多。大多数蓝藻(特别是那些极小型种类)白鲢食后不易消化^[6]。某些作者的实验证明：藻类细胞老化后浮游动物和鱼类通常摄食，食后消化利用也很差。我们也多次见到在这种水中饲养的鲢幼鱼生长极为缓慢。渔农否定这样的老水是有道理的。

渔农遇到水老的对策是用氨水加塘泥或用大粪水或石灰水拌塘泥全池泼洒。这点也能说明水“老”与养分不足有关。近年松井魁等^[10]讨论日本养鳗池水质变化时，也指出当肥分不足时浮游植物细胞发黄和二氧化碳不足时水色发白的情况。

(四) 爽 爽，是水质清爽，水色不太浓，透明度不低于 25 或 20 厘米。透明度过低的原因或是浮游生物量极高，或是蓝藻占优势(集中表层)，或是泥沙和其他悬浮物过多。不仅难以利用的悬浮质粒过多对鱼滤食不利，易消化的浮游生物量过大也不是好的标志。因为浮游生物现存量既决定于本身的生产量又决定于被摄食量。在我国密养池塘中，由于鱼类大量滤食，浮游生物不易长期保持很高的密度，过高的生物量常常是天然饵料未被充分利用、水中物质循环不良的缘故。

此外，鲢、鳙的滤食器官在滤食同时进行着呼吸，当浮游生物密度过大时，其滤水率就要受到限制。我国传统肥水的浮游植物量很少超过 100 毫克/升，如无锡河埒口 8 个高产塘仅 2% 超过此值，广东九江公社仅 3.6% 超过，江浙地区其他鱼池仅 4.8% 超过。渔农所谓“爽”的肥水，浮游植物量一般均在 100 毫克/升以内。可见 100 毫克/升大致是鞭毛藻类塘肥水和老水的分界线。但蓝藻塘的肥水常常超过 200 毫克/升。

根据对河埒口 8 个高产塘的测定，浮游植物量(Y，毫克/升)和透明度(x，厘米)的回归方程式为： $Y = 168.465 - 3.516x(n = 84, r = -0.6086)$ 。

按此计算，当用透明度衡量水的肥度(20—100 毫克/升)时，应以 20—40 厘米作为合格，25—35 厘米为最适度。

总之，根据“肥、活、嫩、爽”的生物学分析，可以看出渔农在长期生产实践中认识到的养鱼最适水质的生物指标应是：(1)浮游植物量 20—100 毫克/升；(2)隐藻等鞭毛藻类较多，蓝藻较少；(3)藻类种群处于增长期，细胞未老化；(4)浮游生物以外的其他悬浮物不多。

“肥、活、嫩、爽”是群众经验的概括，而经验的东西究竟有其局限性。具备 4 项条件的是好水，不具备这 4 项条件的也有好水。比如实践证明螺旋鱼腥藻和拟鱼腥藻的水华都是极好的水^[2,3]，但是这类水华只具“肥”的一项标志；北方有些鱼池常施化学肥料，硅藻和绿藻较多，水色肥爽但不活，也是好水。

三、养鱼水质的生物等级

(一) 养鱼水质的生物质量指标 国外很早就注意到关于鱼池肥水的生物质量指标问题^[17]。一部分作者从水生生物营养关系的研究出发，认为绿球藻目之类作为浮游动物主要食物的微型单细胞藻类是高肥效的指标，蓝藻和较大形藻类不能被饵料动物直接利用，应是肥效不良的标志。另一部分作者根据对养鱼池浮游生物的观测，得出蓝藻(特别是束丝藻)水华的出现是高产塘的生物指标。随着水生动物营养学研究的深入，已经证明蓝藻同样地可被饵料动物摄食和消化利用，两方面的认识渐趋一致。但是这些工作几乎都是

针对养鲤池的，其中浮游植物仅看作间接饵料或天然饵料丰度的标志。近年松井魁等^[10]从藻类可以改善氧气条件出发，提出微囊藻是养鳗池好水的指标。

长时间以来国内对鱼池浮游生物质量的看法上，也存在着与上述类似的情况。70年代以来对白鲢营养有了进一步的研究^[6]（国外也积累了一定的资料）。研究表明：

1. 各门藻类中都有较易消化和较难消化的种类，同一种类的消化性也因本身生理状态不同而有变化。

2. 总的说来金藻、隐藻、部分甲藻和硅藻以及其他各门中的某些种类最易消化，并且消化性较稳定；大多数蓝藻较难消化；绿藻、裸藻和其他各门的一些种类消化性易变化，正常情况下易消化，细胞老化或其他特殊生理状况下较难消化。

消化性确是衡量食物价值的重要指标，然而食物的适口性或可得性以及被吸收的能量有多少用于生长，也是不可忽略的因素。

适于白鲢滤食的食粒低限 Schroeder^[14] 定为 37 微米的标准显然偏高；Кузнецов^[19] 提出自鲢适口食粒的幅度为 21—60 微米；Michael 等^[13]认为是 17—50 微米；刘焕亮^[4]也认为自鲢适口食粒的下限应在 10—20 微米之间。看来 10—20 微米以上可以作为食物适口性的依据。

食物的生长效率必须通过对鱼类能量平衡的研究来确定，但从鱼类生长速度和鱼产量中也能得出一个基本概念。

Hutchinson^[12] 提出用以优势种命名的组合（association）作为划分浮游生物群落的基础。前面提到的 15 个水华类型，每一型都相当于一个组合，可以作为划分水质生物质量的依据。

在 15 个水华中，有 8 个的优势种属于鞭毛藻类。隐藻水华是红褐色肥水的主要成分。据我们的试验，隐藻塘鲢鱼种生长都较快。膝口藻水华是河埒口高产塘主要水质，是当地最受欢迎的绿豆汤肥水^[8]。裸甲藻水华无锡称为可能转好也可能转坏的“转水”，但掌握得当，鳙亩产可达 500 多斤^[11]。角藻水华、团藻目水华、裸藻水华和金藻水华，都是水色活的好水。据我们的观测，血红裸藻、衣藻、棕鞭藻和单鞭金藻占优势的鱼池，白鲢生长良好。前已指出，各种鞭毛藻类几乎都是白鲢易消化的食物，习见优势种的大小都在 10—20 微米以上，可以肯定，前述 7 种水华都是好水。但是囊裸藻水华是渔农不欢迎的铁锈水，这种藻不易消化，应属较差的水。

优势种属于蓝藻的水华有 5 个。据陕西的经验^[2,3]，螺旋鱼腥藻是鲢鱼种特优的食物之一。据 BOBK^[18] 的试验，鱼腥藻占优势的水中，白鲢生长较快。最近李永函发现，拟鱼腥藻塘具有与螺旋鱼腥藻塘同样的养鱼高效。因此鱼腥藻或拟鱼腥藻水华，应是特优肥水。属于蓝藻好水的大致还有束丝藻水华（*Aphanizomenon* bloom），据国外材料和国内经验，这种蓝藻是鲢鳙优质食物^[17]。

其他蓝藻水华的养鱼效果一般较差。据我们的经验，微囊藻和微型蓝藻占优势的水中，鲢鱼种生长极差；颤藻、尖头藻占优势时，生长也不很好，虽然尖头藻是白鲢易消化的食物。我们的资料说明¹⁾，在优势种相近的水中，微型蓝藻所占比重越大，鱼的生长越

1) 何志辉、李永函：金州鱼种场浮游生物和水肥度控制的研究（手稿）。

表1 养鱼水质按浮游植物水华的划分

Tab. 1 Classification of water quality for fishculture based on phytoplankton blooms

水华类型	优势种属	次优势种或生物量较多的种群	合适的生物量上限(毫克/升)	透明度(厘米)	水 色	其 他	主要出现季节
一 等 水 (好 水)							
1. 鱼腥藻和拟鱼腥藻	螺旋鱼腥藻和拟鱼腥藻等	无	200—300	20—25	深绿或蓝绿,水面有翠绿色絮状	pH较高,氮少,磷多	夏
2. 隐藻	隐藻属大型种类	小环藻、绿球藻类	100	25—35	褐或红褐、绿褐	富有机质水	全年
3. 膜口藻	扁形膜口藻	裸甲藻、光甲藻、隐藻或绿球藻类	100	25—35	褐青或褐绿,多变化	富有机质水	夏
4. 裸甲藻	蓝球藻、裸甲藻	膝口藻或绿球藻类	100	25—35	褐绿、蓝绿到铁灰,水面有雾状斑团	富有机质水	夏秋
5. 角藻	飞燕角藻	无	100	25—35	黄褐到褐色,不均匀,可见到浓褐色斑团	鲤鳙鱼池不易出现	夏
6. 裸藻	血红裸藻	隐藻、蓝藻	100—200	25—35	绿色、褐色或褐绿,水面常有红膜	富有机质水	夏秋
7. 团藻	衣藻、空球藻等	隐藻、褐藻、绿球藻类	100	25—35	草绿,水面常有绿色膜	富有机质水	全年
8. 硅藻	小环藻、舟形藻、菱形藻	隐藻、绿藻、蓝藻	100	25—35	褐或深褐	氮、磷、硅较丰富,pH不太高	春秋
9. 金藻	单鞭金藻、棕鞭藻	隐藻、硅藻	100	25—35	金褐色	富有机质水	春秋
10. 大型绿球藻	空星藻、盘星藻	隐藻、硅藻、蓝藻	50—100	25—35	草绿色	富无机氮、磷,种类较多	全年

二 等 水 (较 好 水)

(一、三、四等以外的各种水华,略)

三 等 水 (较 差 水)

1. 颤藻或席藻	孟氏颤藻、泥褐席藻、其他席藻	其他蓝藻或绿藻	100	<25	灰绿、黄褐或泥黄色不爽	pH较高,较长时间未换水	夏
2. 尖头藻	尖头藻	其他蓝藻或绿藻	100	<25	蓝绿或黄绿,水面常有浮膜	pH较高	夏
3. 裂裸藻	棘刺囊裸藻、旋转囊裸藻等	裸藻、其他鞭毛藻类	100	25—35	铁锈色或红褐色	富有机质水	夏秋

四 等 水 (劣 水)

1. 微囊藻	铜绿微囊藻、粉状微囊藻	无	>100	<20	蓝绿、黄绿或深绿,水面或有球状絮状	pH较高,长时期死水	夏
2. 微型蓝藻	蓝球藻、蓝纤维藻、平裂藻等	其他蓝藻或绿藻	>100	<25	蓝绿或茶褐色	长时期死水	生长期
3. 老化微型绿球藻	小球藻、栅藻、纤维藻等	无	>50	<25	黄褐色	未及时追肥,死水	生长期

差。Маляревская 等^[20] 和 Вовк^[18] 的材料也表明, 蓝藻塘白鲢的生长通常较差。倪达书^[11]、Савина^[21]、何志辉等^[6] 都曾指出: 大多数蓝藻白鲢不易消化。此外微型蓝藻还易通过白鲢滤器而流失。

蓝藻所含蛋白质远高于其他藻类, 但白鲢食蓝藻后所得到的和用于生长的氮量并不高。例如, 据 МАЛЯРЕВСКАЯ 等^[20] 的观测, 白鲢食蓝藻时所得的氮量仅及食原球藻时的 $1/4$ — $1/2$, 并且所得氮量中仅 28—37% 用于生长, 61—71% 消耗于代谢; 而从绿藻所得氮中, 54—71% 用于生长, 仅 29—46% 消耗于代谢。Вовк^[18] 曾指出, 白鲢食原球藻、裸藻和鱼腥藻时生长较快, 饲料系数约 30—40, 而食微囊藻等蓝藻时, 饲料系数在 50 以上。据 Сиренко 等^[23] 的材料, 白鲢食蓝藻的饲料系数可能高达 100 以上。

总之, 席藻和尖头藻水华是较差的水, 微囊藻水华和微型蓝藻水华是最差的劣水。

硅藻在白鲢食物中的意义, 国内外都是一致肯定的, 硅藻塘在鲢亲鱼春季培育中的积极作用也为生产实践所一再证明, 因此硅藻水华无疑是上等肥水, 但这种水华持续时间不长。

绿球藻也是我国鱼池肥水重要成分之一, 但作为水华优势种的情况并不多, 一般持续期也不长。对于这种水华的养鱼意义, 尚有分歧。据 МАЛЯРЕВСКАЯ 等的实验^[20], 原球藻占优势的鱼池, 白鲢增重率较高。据 Савина^[22] 观察, 空星藻和盘星藻占优势的鱼池白鲢生长良好。Вовк^[18] 也指出绿藻是白鲢的优质食物。国外一些施化肥的养鱼池, 浮游植物大多数以绿球藻类为主, 白鲢的生长也不错。但是国内生产经验显示栅藻和其他小型绿球藻占绝对优势的水中, 鲢、鳙生长极差。

绿球藻类的细胞容易老化, 这点可能是对于它们的消化性和养鱼效果常有分歧的主要原因。再者, 许多微型种类家鱼难以滤食。因此, 较大形种类占优势、种数较多、总量不太高的绿球藻水华是上等肥水; 微型种类占优势或为绝对优势种、种数很少、总量很高的绿球藻水华是老水, 其水色通常发黄。

后面按水华类型分为四等水, 已列一等、三等和四等水是目前可以基本肯定的部分, 其他水华都暂列为二等水(表 1)。

(二) 养鱼水质的生物数量指标 70 年代以前国内通常以每升水中有多少个浮游植物作为标志, 但是由于不同种类大小相差悬殊, 个体或细胞数本身不能反映浮游生物的丰富度; 何况在定量计数中, 有的作者把微型和超微型浮游生物漏计了, 所得数据远低于实际数量^[5]。

为了拟定一个比较合理的养鱼水质的生物指标, 我们采用计算细胞体积并换算为重量的浮游生物定量方法^[7], 进行了大量的鱼池浮游生物定量工作。

根据我们的观测, 20 毫克/升大致是鱼池肥水的浮游植物量起点(表 1)。但我国传统肥水的平均浮游植物量多在 40—50 毫克/升之间, 如河埒口 8 个高产塘生长期的平均值为 46—52 毫克/升, 九江公社鱼池的平均值为 42 毫克/升, 江浙其他地区鱼池的平均值为 45.6 毫克/升。因此 50 毫克/升的浮游植物量可作为更高一级肥水的起点。有一些浮游动物必须在这样的食物密度下达到最大的增长, 如臂尾轮虫的最适食物密度为 40—50 毫克/升^[25], 有些纤毛虫接近 60 毫克/升^[24]。100—200 毫克/升应是传统肥水和老水过渡区, 200—400 毫克/升可能是蓝藻老水的起点。因此, 20、50、100 和 400 毫克/升的浮游

植物量可作为划分鱼池水质生物数量等级的指标。

湖泊和水库的生物量通常低于 20 毫克/升。参照 Vollenweider^[15] 和 Wetzel^[16] 等的材料，其营养类型大致可以划分以下 5 级：

极贫营养型水	<1 毫克/升
贫-中营养型水	1—3 毫克/升
中-富营养型水	3—5 毫克/升
富营养型水	5—10 毫克/升
特富营养型水	10—20 毫克/升

根据上述原则，可将养鱼水质按浮游植物量分为十级并列出各级水的宏观特点和渔业意义（表 2）。

表 2 养鱼水质肥度的生物量等级

Tab. 2 Classification of water fertility for fishculture based on phytoplankton biomass (mug/l)

等 级	浮游植物量 (毫克/升)	水 色	透明度(厘米)	渔 业 意 义
0	<1	清 澈	—	极贫营养型水
1	1—3	清 澈	—	贫-中营养型水
2	3—5	不显色	—	中-富营养型水
3	5—10	微显色	—	富营养型水
4	10—20	色较浓	>40	特富营养型水
5	20—50	浓	30—40	鱼池肥水
6	50—100	浓	25—35	鱼池肥水
7	100—200	极 浓	<25	老水或肥水
8	200—400	极 浓	<20	一般为老水
9	>400	极 浓	<15	老水

四、结语和讨论

以上通过“看水”的生物学分析提出养鱼水质的生物等级，可以说基本上把难以捉摸的群众经验，提高到可以用浮游生物学方法加以测定的生物学内容了。当然，所提指标必须在应用和研究过程中不断提高精度和广度。

浮游植物是水体最基本的食物源泉，又是鲢、鳙、罗非鱼等的直接食物，水中浮游植物的多少还和氧气情况紧密联系着，生产上行之有效的“看水养鱼”技术也是以浮游植物为依据的，因此用浮游植物的种、量作为划分成鱼池水质的标准是比较合理的。至于鱼苗池的水质当然要以浮游动物为基础，这方面李永函^[9]曾作过探讨。

在水华类型中（表 1），80% 以上属于鞭毛藻类和蓝藻，并且也就是这两类水华在鱼池中持续时间较长。如果用整个生长期中在生物量上占优势的藻类来划分水体，那么我国成鱼池基本上都属于鞭毛藻类塘和蓝藻塘两类。前者是我国传统养鱼方式的高产塘代表，其浮游植物量大多变动于 20—100 毫克/升之间，平均 40—50 毫克/升，浮游动物平均量常为浮游植物量的 1/4—1/3；后者常为管理欠佳，施肥和投饵不定量不及时又少冲换水的鱼池，浮游植物现存量很高（>100 毫克/升），浮游动物量较低。

中国传统养鱼方式的特点是逐日定量地向鱼池施投有机肥料和人工饵料，丰富的有机质使兼性营养的鞭毛藻类在种间竞争中处于有利的地位；如果不能适时满足鞭毛藻类的要求，蓝藻即取得竞争上的优势。看来以隐藻为代表的鞭毛藻类和蓝藻应是我国养鱼池生态系中两类基本的顶极群落，前者为水质管理得当因而水中物质循环良好的中国传统肥水的代表，后者通常为管理欠佳、物质循环不良的“老水”。当然，从养鱼效果来看有些蓝藻塘（如鱼腥藻和拟鱼腥藻塘）还是头等好水。看来，当前采用定向培育鞭毛藻类肥水是一项易于在生产上推广应用的方法。今后随着养鱼事业的发展，化学肥料的使用将日渐增大。采用化肥养鱼的水质问题，自然还有某些方面的问题有待进一步研究。

参 考 文 献

- [1] 王 武, 1981. 高产成鱼池蓝绿裸甲藻水华的研究。水产学报, 5(4): 351—360。
- [2] 石志中、方德奎、张 卫, 1975。白鲢等鱼种对螺旋鱼腥藻消化吸收的示踪实验报告。水生生物学集刊, 5(4): 497—502。
- [3] 石志中、方德奎、张 卫, 1976。白鲢鱼种对螺旋鱼腥藻摄食量和利用率的研究。水生生物学集刊, 6(1): 89—96。
- [4] 刘焕亮, 1981。鲢、鳙的滤食器官。大连水产学院学报, (1): 13—33。
- [5] 何志辉, 1974。对我国淡水浮游生物调查工作的一些意见。动物学杂志, (1): 1—2。
- [6] 何志辉、李永函, 1975。论白鲢的食物问题。水生生物学集刊, 5(4): 541—548。
- [7] 何志辉, 1979。淡水浮游生物的生物量。动物学杂志, (4): 53—56。
- [8] 何志辉、李永函, 1983。无锡市河埒口高产鱼池水质研究2. 浮游生物。水产学报, 7(4): 286—299。
- [9] 李永函, 1978。关于鱼苗下塘时池水水质生物指标问题的探讨。淡水渔业, (1): 13—19。
- [10] 刘海金等译(松井魁等著), 1978。鳗鲡生物学和人工养殖。科学出版社。
- [11] 倪达书、蒋燮治, 1954。花鲢和白鲢的食料问题。动物学报, 6(1): 59—71。
- [12] Hutchinson, G. E., 1967. A Treatise on Limnology, Vol. 11. Wiley, New York.
- [13] Michael C. Cremer and R. O. Smitherman, 1980. Food habits and growth of Silver and Bighead carp in cages and ponds. *Aquaculture*, (20): 57—64.
- [14] Schroeder, G. L., 1978. Autotrophic and heterotrophic production of microorganisms in intensely-manured fish ponds, and related fish yields. *Aquaculture*, (14): 303—325.
- [15] Volkenweider, R. A., 1968. Scientific fundamentals of the eutrophication of lakes and flowing water—with particular reference to nitrogen and phosphorus as factors in eutrophication. Tech. Rep. Organiz. Econom. Cooper. and Devel., Vol. 27: 159.
- [16] Wetzel, R. G., 1975. Limnology. Saunders, Philadelphia, London, Toronto.
- [17] Винберг, Г. Г., и В. П. Ляхнович, 1966. Удобрение прудов. Изд-ство «Пищевая промышленность». Москва.
- [18] Бовк, П. С., 1976. Биология дальневосточных растительноядных рыб и их хозяйственное использование в водоёмах Украины. «Наукова Думка» Киев.
- [19] Кузнепов, Е. А., 1977. Потребление бактерий белый толстолобиком *Hyporhthalmichthys molitrix* (С. et V.) *Вопросы ихтиол.*, 17 (3): 455—461.
- [20] Маляревская, А. Я., Биргер, Т. И., Арсан О. М. и В. Д. Соломатина, 1973. Изменение биохимического состава головников толстолобика *Hyporhthalmichthys molitrix* (С. et V.) при потреблении ими различных кормов. Пищевые потребности и баланс энергии у рыб. «Наукова Думка» Киев.
- [21] Панов Д. А., Сорокин Ю. И. и Мотенкова, А. Г., 1969. Экспериментальное изучение питания молоди толстолобиков. *Вопросы Ихтиол.*, 9 (1): 138—152.
- [22] Савина, Р. А., 1965. Питание и рост белого толстолобика в прудах Тр. всероссийского научно-исследовательского института прудового хозяйства, т. XIII, стр. 47—54. «Пищевая промышленность» Москва.
- [23] Сиренко, Л. А., и М. Я. Гавриленко, 1978. “Цветение” воды и евтрофирование. «Наукова Думка» Киев.
- [24] Хлебович, Т. В., 1979. Количественные показатели питания инфузорий. общие основы изучения водных экосистем. стр. 100—105, «Наука» Ленинград.
- [25] Эрман Л. А. 1962. Питание и размножение планктонных коловраток *Brachionus calyciflorus* Pallas в массовых культурах. *ДАН СССР*, 144 (4): 926—929.