



QUANGUO GAODENG  
SHUICHAN YUANXIAO  
JIAOCAI

全国高等水产院校教材

# 淡水养殖水化学

湛江水产专科学校 主编

---

淡水养殖专业用

中国农业出版社

全国高等水产院校教材

# 淡水养殖水化学

湛江水产专科学校 主编

中国农业出版社

主 编 湛江水产专科学校 吴新儒  
编 者 大连水产学院 雷衍之  
      华中农学院 许昌兴

## 编 者 的 话

《淡水养殖水化学》是专业基础课之一。本书着重介绍有关水化成分的动态规律及其对生产的影响，力求指出：水化学分析数据，水化动态规律，生产管理措施之间的内在联系。全书除绪言、附录外，包括两篇十一章。第一篇第六章，从渔业用水要求及标准出发，着重讨论了有关水化因子的动态规律及其控制因素与影响，为养殖用水水质管理提供理论依据；第二篇第五章，具体介绍了二十五个项目的分析方法以及有关水化学调查的组织准备、方法简化、资料整理等知识。

考虑到有关方面的需要、养殖生产的现状及水化学调查的特点等，本书内容的深广度略有扩大。某些可能与后期课程重复的内容以小字排印。教学中应优先完成的实验项目以\*号注出。分析方法均以容量分析、比色分析及便携仪器为主，为讨论说明问题而涉及有关学科的知识，仅引述有关观点结论，教学时各项目的测定实验已分插在第一篇有关章节。

本书是由湛江水产专科学校吴新儒、大连水产学院雷衍之、华中农学院许昌兴等同志分工编写的。厦门水产学院、上海市水产研究所、广东水产研究所、广西水产研究所以及《淡水渔业》杂志编辑部刘世英、湛江水产专科学校刘思俭、熊大仁等同志，对本书的编写或审定，提过宝贵意见，谨在此表示深切谢意。

1979年3月

# 目 录

绪言 .....	1
----------	---

## 第一篇 养殖水化学

第一章 养殖水化学基础 .....	4
第一节 天然水体和养殖水体 .....	4
第二节 水及水溶液的一些物理性质 .....	8
第三节 气体的溶解与逸散 .....	12
第四节 天然水体内的一些化学反应 .....	15
第五节 天然水体内的一些界面作用 .....	24
第六节 养殖水体内物质的迁移过程 .....	31
第二章 主要离子 pH .....	35
第一节 概说 .....	35
第二节 碳酸盐 碱度 .....	38
第三节 缓冲作用 pH .....	43
第四节 钙 镁 硬度 .....	47
第五节 养殖水体内二氧化碳平衡系统的管理原则 .....	50
第六节 硫酸盐与硫化物 .....	52
第七节 氯化物 矿化度 .....	57
第三章 溶解氧 .....	59
第一节 溶解氧的含量及其影响因素 .....	59
第二节 溶解氧的分布变化规律 .....	66
第三节 溶氧动态对水体生产的影响 .....	70
第四节 养殖水体内溶氧的管理 .....	76
第四章 植物营养元素 .....	82
第一节 概说 .....	82
第二节 氮 .....	85
第三节 磷 .....	98
第四节 其他营养元素 .....	110
第五章 有机物质 .....	118
第一节 概说 .....	118
第二节 水体内有机物的变化及其意义 .....	119
第三节 有机物好气分解动力学规律 .....	127
第四节 有机物对水体生产的影响 .....	131
第六章 有毒物质 .....	136
第一节 有毒物质的来源及影响 .....	136

第二节	水中毒物的容许浓度 .....	141
第三节	废水实际毒性的生物检定 .....	144
第四节	废水为害的对策 .....	147
第五节	水体的重金属污染 .....	151
第六节	农药及其他毒物对水体的污染 .....	161
<b>第二篇 水质化学分析</b>		
第七章	水化学调查基本知识 .....	172
第一节	水化学调查项目 测点 测次的确定 .....	172
第二节	比色方法 .....	174
第三节	野外调查操作的简化 .....	180
第四节	水样的采集与保存 .....	183
第五节	分析结果的整理 检查 .....	187
第八章	主要离子的测定 .....	193
* 第一节	碱度 .....	193
* 第二节	总硬度 .....	196
* 第三节	钙 镁 .....	198
第四节	氯化物 .....	200
第五节	硫酸盐 .....	201
第六节	总含盐量 .....	204
第七节	溶解性固体 .....	209
第九章	溶解气体 pH 的测定 .....	211
* 第一节	游离二氧化碳 .....	211
* 第二节	pH .....	212
* 第三节	溶解氧 .....	219
* 第四节	硫化物 .....	229
第十章	有机物与营养元素的测定 .....	233
* 第一节	有机物耗氧量 .....	233
* 第二节	铵态氮 .....	238
第三节	亚硝酸态氮 .....	239
* 第四节	硝酸态氮 .....	242
* 第五节	总磷 .....	246
* 第六节	磷酸盐磷 .....	249
第七节	硅酸盐硅 .....	250
* 第八节	铁 .....	252
第十一章	水中一些毒物的测定 .....	254
第一节	酚 .....	254
第二节	汞 .....	258
第三节	砷 .....	261
第四节	六价铬与总铬 .....	263
第五节	氰化物 .....	265

---

第六节 氟化物 .....	268
附录 .....	271
(一) 常见元素国际原子量表 (1975) .....	271
(二) 常见化合物分子量表 .....	271
(三) 常用市售酸等的当量浓度及配制表 .....	273
(四) 四位对数表 .....	274
(五) 渔业水质标准 .....	276

## 绪 言

从国内外一些资料来看，目前养鱼单产很不平衡，在天然水域条件下，养鱼单产的最高纪录，可能是日本群馬县田中养鲤场的流水养鲤。据报道：其中1号池，面积仅48m<sup>2</sup>，水深1.8m，按1953年资料，每公顷产量达7066.67多kg\*，平均1m<sup>3</sup>水生产鲤鱼70kg，而且能连年保持这么高的产量。近年发展起来的机械化养鱼工厂，产量就更高。据说：年产量1m<sup>3</sup>水最高的可达400~600kg。

这些实际数字告诉我们，养鱼生产潜力是很大的，单产有可能大幅度提高，不仅是翻一番、翻几番的问题，而可能成百成千倍地增长。

理论计算也得到类似的结果。“以单位面积、单位时间内固定碳重量（原始产量）来计算的天然水面可供利用的能量，远远大于目前的鱼产量”，“就是把目前海洋鱼产总量（4000万t）\*\*增加100倍，也还是大大低于原始产量。”（P.亨德莱：《生物学与人类未来》）。

当然，这些数字同时也给我们提出了问题，要我们去探索单产高低的种种原因，进而改变低产徘徊局面，把产量搞上去。

为什么单产会相差这么悬殊呢？主要与“种”、“吃”、“水”等因素有关。有了优良品种，在其他条件相同时，可以获得更高产量；有了数量足够、质量合格的饵料，高产才有物质基础和能量基础。所以，“种”和“吃”是非常重要的。至于水的问题，除了死鱼时，人们会想到水质问题外，平时就考虑得少而又不深入。然而，许多迹象表明：单产越高，水的问题就越尖锐突出，越有可能变为提高单产的关键因素。前面说的流水养鲤高产及养鱼工厂高产的例子，都说明了这一点。养的鱼种，吃的饵料与一般养鱼场并无两样，可一般养鱼场却达不到那样高的产量。这里水成为主要矛盾或矛盾的主要方面。当然，任何高产措施，都不是单一的而是综合的，除了种、吃、水的问题外，养殖技术，鱼病防治，都是不可少的。这里所强调的是：越是高产，水的问题就会变得越突出，可能发展成为限制提高单产的一个主要矛盾，应该重视这一点，并进一步去研究它，解决它。然而，正如P.亨德莱等在《生物学与人类未来》中指出的，长期来“环境生理学是所有渔业研究领域中最被忽视的。”若不改变这种情况，那么，即使“渔业生产是能够被大大增加的，但没有更多的生态学知识和更为有效的管理办法是无法保持高产的。”

实际上，水的问题对养鱼单产有重要影响，“鱼水之情”、“鱼水关系”，包含有

---

\* 群馬县目前流水养鲤每公顷最高产量为1.3万kg。

\*\* 目前海洋鱼产总量达6000多万t。



深刻的科学内容。水是鱼类及其他养殖生物的生存介质，为这些生物提供了一个立体生活空间，鱼类及其他养殖生物，从繁殖、成长到收获、死亡，整个一生都是在水中度过。一切有益、有害的影响，都必须经由水、改变水质，才能作用于这些生物。具体说来则有：

1. 水要供给氧气，保证养殖生物的呼吸需要；
2. 水要供给养分，增殖天然饵料，满足养殖生物发育成长时的物质需要与能量需要；
3. 水要容纳水中生物的代谢废物及尸骸，促使它们分解转化，防止它们积累为害；
4. 水既会传播病害毒物，造成疾病、死亡，又能溶解分散药物，达到防病治病、恢复健康的目的；

5. 水中还有一些所谓“化学通讯物质”，可用来传递信息、指挥行动，对于鱼类索饵、繁殖、区别同伴、发现危险、逃避毒物等等行为，都有重要影响。

总之，养殖生物生命的各个阶段、生活的各个方面，无一不和水质有关。在品种、饵料充足时，水质若能满足需要，养殖生物就能顺利发育成长，得到好的收成；相反，要是水质不能满足这些需要，甚至超出它们的适应及至忍耐范围，即使有好的品种、饵料，养殖生物仍然不能正常生长，不仅无法保证高产，还可能招致养殖生物大批死亡，渔场荒废甚至积累毒物，危害人体健康。

显然，养殖用水要满足养殖生物多方面的不同需要，除了要有足够的水量之外，更要具备相应的水质条件，其中最重要的是：含适量的溶解盐类；溶氧丰富，几乎达到饱和；含适量植物营养物质及有机物质；不含毒物；pH在7附近，呈中性或弱碱性。

有些国家还进一步规定了有关项目的具体数字，作为“渔业水质标准”，以法令形式颁布执行。我国渔业水质标准正在审定中。值得指出的是，各国渔业水质标准，主要是根据环境保护、水产资源保护的需要制定的，而不是按照提高单产的需要制定的，因而所列项目，所定指标，不尽适合。再说世界上的事物是复杂的，是不断运动变化的，养殖用水的实际水质情况也是多种多样的，并不都能满足上述标准符合高产要求，更不是一成不变的。需要与可能脱节、要求与实际不符合的情况经常出现。

面对上述情况，我们应该特别注意研究水体“水化成分与生产效果”这对矛盾运动的客观规律，以便扶持有利因素，避免有害条件，做好水质管理，促使矛盾转化，化害为利，夺取高产。要能真正做到这点，就必须具体研究解决以下四方面的问题：

1. 要研究了解水化成分与水生生物的相互关系，进而确定养殖生产对各水化因子的具体要求；
2. 要研究了解水体各水化因子的动态规律。例如，它们的来源、存在形式、迁移转化途径及效率、时空分布等；
3. 在上两项研究的基础上，进一步对养殖生产中的水环境，进行质量评价，拟订水环境管理对策及有关措施；
4. 要研究各水化因子的检测方法或系统，以便监测有关水化因子的实际动态，为水环境管理提供依据。

这些问题，过去是由生态学、地球化学、分析化学等不同学科分别研究的。现在，

则成为环境科学这门带边缘学科性的综合性自然科学的研究对象。

毛主席说：“对于某一现象的领域所特有的某一种矛盾的研究，就构成某一门科学的对象。”“养殖水化学”就是以养殖生产中，水化成分与生产效果这对特有矛盾，作为研究对象的。显然，“养殖水化学”应视为环境科学的一个分支，专门研究养殖生产过程中的水化环境问题，象整个环境科学一样，它也包括以下内容：环境污染物的来源、动态及后果；环境污染的检验监测；环境质量评价；环境对策与管理以及环境经济、环境工程等，与水生生态系统研究，关系特别密切。

目前，“养殖水化学”还很不成熟。不过，随着环境科学及生态学的飞速发展，“养殖水化学”可以从中吸取许多养料，使自己成长起来。从一些资料看，水化学研究正从定性走向定量，从宏观描述深入到宏观、微观相结合，生态与生理、生化相结合，从高浓度污染的急性影响过渡到低浓度长期接触的慢性危害等，并在摸索建立数学模式，把水质自动监测系统与电子计算机信息处理系统联系起来，进行预测预报，能动管理。

过去，养殖水化学课程，内容多以水分析方法为主。在本课程中，我们尝试突出水化成分与生产效果这对矛盾，围绕上述四方面问题，选编材料，进行分析讨论，力求指出：“水化学分析数据—水化成分动态规律—生产管理措施”之间的内在联系。考虑到国内淡水养殖生产的现状，水质分析方法，仍以简便易行的容量分析及比色分析方法为主。

# 第一篇 养殖水化学

## 第一章 养殖水化学基础

### 第一节 天然水体和养殖水体

尽管养殖生产的方式有多种，如大水面天然增殖、池塘精养、高密度流水养鱼、循环过滤工厂化生产等，不过它们用的水源，归根到底都来自天然水。大面积增殖直接在天然水体中进行，池塘养殖也利用天然水，只是水质受人们生产活动影响更大罢了。因此，了解天然水的水质特点及其控制因素，对于认识养殖水体的水质特点是十分必要的。

#### 一、天然水水质的复杂多变性

众所周知，水是一种优良溶剂，绝对不溶于水的物质是没有的。在自然界，水又是不断循环变化的。它们不断地从江、湖、海洋蒸发，进入大气，再在高空冷凝后降落地面，以潜水或地表径流形式，重新回到江、湖、海洋，如此循环不息。在循环过程中，水与各种物质接触、作用，使之悬浮或溶解于水中。因此，各种天然水都不是纯水，而有复杂的组成，多变的特点，常常带有强烈的地方色彩，主要表现在以下几方面：

1. 水中溶存物质，种类繁多，数量悬殊 人们迄今已知的 107 种元素中，已有 80 多种在天然水中检出过，数量多的如海水及内陆咸水湖中的氯，浓度可达 10~20g/L 左右，数量少的如钷，浓度还不到  $10^{-17}$ g/L。一般河水常见成分的浓度范围如图 1-1 所示。显然，这些元素构成的化合物，为数就更多了。它们对生物的影响也各不相同。浓度大的不一定重要，浓度低的不一定不重要。例如，氮、磷、铁、铜等，尽管浓度很低，可是对水体肥力有决定性影响。

2. 水中溶存物质的存在形式多种多样 就粒径来说，大小相差达 6 个数量级以上。小的仅几个埃 ( $10^{-8}$ cm)，以真溶液存在。大的在数百  $\mu\text{m}$  以上，构成多相分散体系。在溶液中有低分子物质，也有高分子物质，它们可以成单个的离子、分子、离子对、无机络合

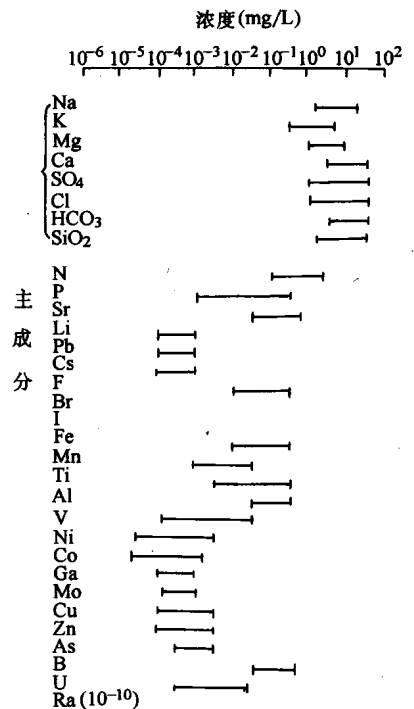


图 1-1 河水中某些成分的含量范围

(引自《水质调查法》p.51, 半谷高久)

物、有机螯合物等多种形式存在，它们通过化学反应以及吸附、交换、共沉淀等界面作用可转为胶体或粗分散粒子。表 1-1 是天然水中元素的主要存在形式示例。

表 1-1 天然水中元素的存在形式

溶存形式	游离的离子	无机离子对； 无机络合物	有机络合物； 螯合物	金属—高分子 量有机物	高分散度的 胶体形式	吸着在胶体上	沉淀、有机 碎屑、活生 物，其他	
粒 径 及 特 性	←----- 1nm ----- 10nm ----- 100nm ----- 1000nm ----->							
	←----- 真溶液 ----->				←----- 胶体 ----->			←----- 悬浮物 ----->
	←----- 可渗析的 ----->							
	←----- 可膜滤的 ----->							
例	Na <sup>+</sup> 、K <sup>+</sup> 、 Ca <sup>2+</sup> 、Mg <sup>2+</sup> 、 Cu <sup>2+</sup> 、Fe <sup>3+</sup> 、 Cl <sup>-</sup> 、SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 、 HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Mg <sup>2+</sup> -SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 、 Mg <sup>2+</sup> -CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> 、 Na <sup>+</sup> -HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ； Pb(CO <sub>3</sub> ) <sup>0</sup> 、 Cu <sub>2</sub> (OH) <sub>2</sub> <sup>2+</sup> 、 CaCl <sup>+</sup> 等	Me <sup>+</sup> -SR <sup>+</sup> 、 Me-OOCR； CH <sub>2</sub> -C=O NH <sub>2</sub> \ O O / NH <sub>2</sub> Cu O \ NH <sub>2</sub> O=C-CH <sub>2</sub>	Me-腐植酸、 Me-类脂聚 合物、“色淀”、 “黄腐酸”、 Me-多糖	FeOOH； Fe(OH) <sub>3</sub> ； Mn(IV)氧化 物；腐植胶体； 水合 SiO <sub>2</sub> 及 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 胶体	吸着在粘土胶 粒上的 MeS、 MeCO <sub>3</sub> 、Mex (OH) <sub>y</sub> 、NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> 、 PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> 等；吸 着在氧化物胶 体上的 Mn(IV)、 FeOOH 等		
	* 表中 Me 表示金属；R 为烃基。							

即使是同一元素在同一水体内，其存在形式也可以是多种多样的。

值得特别注意的是，同一元素以不同形式存在时，对生物的影响可以完全不同。有的是有益的，即所谓“有效形式”。有的是有害的，即所谓“有害形式”。例如氮以 N<sub>2</sub> 存在时，多数浮游植物不能利用，数量多时还可能使鱼苗得气泡病；以 NH<sub>3</sub> 存在时，浮游植物可以吸收利用，是有利的，对鱼及其他水生动物则有毒害作用；若以 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 或 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 存在，浓度合适，则于植物有利，于动物也无害了。又如铜，以游离离子 Cu<sup>2+</sup> 存在时，可以杀死一些病源体，有防病治病的效果，相反，若转以有机络合物存在，或被胶体、悬浮物吸着之后，则毒性急降，甚至全无疗效。

3. 水中溶存物质，不论是质与量的组成，还是分散状态、存在形式，都是不断运动变化的，有些变化可使水中某些物质实际数量或浓度增大，称为“增补作用”。若增补来自水体之外，则称为“输入”或“流进”；若增补来自水体内部则称为“再生”。

相反，有些变化则使水中某些物质实际数量或浓度减小，称为“消耗作用”。离水体而去的消耗称为“输出”或流失。水体内部的消耗作用，即包括无益的损耗浪费，也包括有益的吸收利用。

如果增补作用与消耗作用速率相等，即成动态平衡，此时所述物质的浓度可保持相对稳定，相当于生态学上的一种“恒稳状态”（简称“稳态”）。然而，矛盾的斗争是绝对的，矛盾的统一只是相对的、暂时的。天然水中增补作用与消耗作用速率相等的恒稳状态，也只是相对的暂时的。一旦条件变化，旧有稳态平衡随之破坏，并在新的条件下建立新的稳态平衡。随着这种矛盾运动的不断进行，水中任一溶存物质的实际浓度都

处于不断运动变化之中，一天二十四小时不同，一年四季不同，前者称为“周日变化”，后者称为“周年变化”或“季节变化”。同一水体的不同水层、水区，水质也可不同，前者称为“垂直分布”，后者称为“水平分布”。

上面说的是天然水体水质的一些共性。不过，不同天然水体所处的自然地理条件不同，受的影响不一样。因此，它们的复杂多变性往往各有自己的特点，必需具体调查分析。

不过，世界上任何复杂多变的事物，都有一定规律可循。水化学现象也如此。在与生物有关的水化学研究中，人们常根据水中化学成分的动态及其对水生生物影响的一些共性，把它们分为6类：①主要离子；②溶解气体；③植物营养物质；④有机物质；⑤pH；⑥有毒物质等。

## 二、水体的环境机能与水体污染

天然水水质的复杂多变特点，必然会带来各种可能后果。在正常或有利条件下，水质的复杂多变特点，可使水体的环境机能充分发挥出来，有利于养殖生产。相反，如果条件异常，那么水体环境就会污染恶化，有害于养殖生产。

天然水体的正常环境机能主要表现在以下三方面：

1. 能量流动 维持和延续生命活动是需要能量的。在地球上，除核能外，一切能量直接或间接地都来自太阳。入射到天然水体内的太阳光能，主要靠各种水生植物，特别是浮游植物捕集，使之转化为有机物中的化学能，贮藏于植物体内。然后，这些能量随着有机食物，沿食物链或食物网，依次由一个营养级到下一个营养级向下流动，使那些生物得以生存和发展。其中植物把光能变为化学能的作用，是能量流动的起点，是水中其他生物生存、发展的基础，因而得名“初级生产”或“基础生产”。调查指出：自然界营养级之间的能量转移效率，一般为10%，常称为“百分之十规律”。很显然，一旦水体的能量流动机能受阻、受损，效率不高时，养殖生产就难于正常进行。

2. 物质循环 生命的维持及延续，除需要能量外，还需要各种物质。生物从环境中吸收这些物质，加以同化利用，最后又以某种形式回到环境，为其他生物所利用。物质在生物与环境间的这种流动过程，称为“物质循环”，两者构成一个相互依存的统一体。物质环境孕育了水中的生物，反过来，水中生物又是水环境的积极改造者。根据生物在水中物质循环中起的作用不同，人们把它们分为三类：生产者生物（主要为植物）、消费者生物（主要为动物）、分解者生物（主要为微生物）。

如果水体的物质循环能正常进行，则植物营养物可以再生利用，排泄废物可以转化为无害，这对养殖生产是有利而必要的。

一般说，物质循环总是与能量流动结合一起进行的，其中以碳、氧、氮、磷、硫等的循环，对水质及养殖生产影响最大。

3. 自净作用 在自然条件下，水体，一方面由于生物代谢废物等异物的侵入、积累，经常遭到污染，另一方面，水体的物理、化学及生物作用，又可将这些有害异物分解转化，降低以至消除其毒性，使污染水体恢复正常机能。后一过程称为水体的“自净作用”。

自净和污染是天然水体和养殖水体一对重要的矛盾运动，对于水生生物的环境质量有重要影响。

一般说，正常养殖水体内，总是自净作用超过污染过程。相反，若由于某些自然或人为的原因，使大量有害异物进入养殖水体，超过了水体的自净能力，不能及时分解转化为无害形式，反而在水体或生物体内积累下来，破坏水环境的正常机能，这种情况就称为“水体污染”，对养殖生产妨碍极大。轻则抑制生长，产量下降，重则渔场荒废，甚至积累残毒，危害人体健康。为了避免这种情况，一方面要进行工业废水的处理监测，另一方面应该搞好养殖水体本身的管理。

值得注意的是：不同水体，即使环境机能正常，其能量流动、物质循环及自净作用的速度、效率与通量也可不同。因而，水中生物的环境质量、物质与能量的供应程度、水体的生产性能也不一样。只有那些流动及循环速度、效率与通量都足够大的水体，才有高的生产性能，通常称为“富营养型水体”。相反，水中能量流动、物质循环、自净作用的速度、效率、通量都低的水体，生产性能照例也是低的，称为“贫营养型水体”。

### 三、影响水质特点及水体机能的因素

任何一个天然水体或养殖水体都是三维立体的，如图 1-2 所示。水体表面与大气

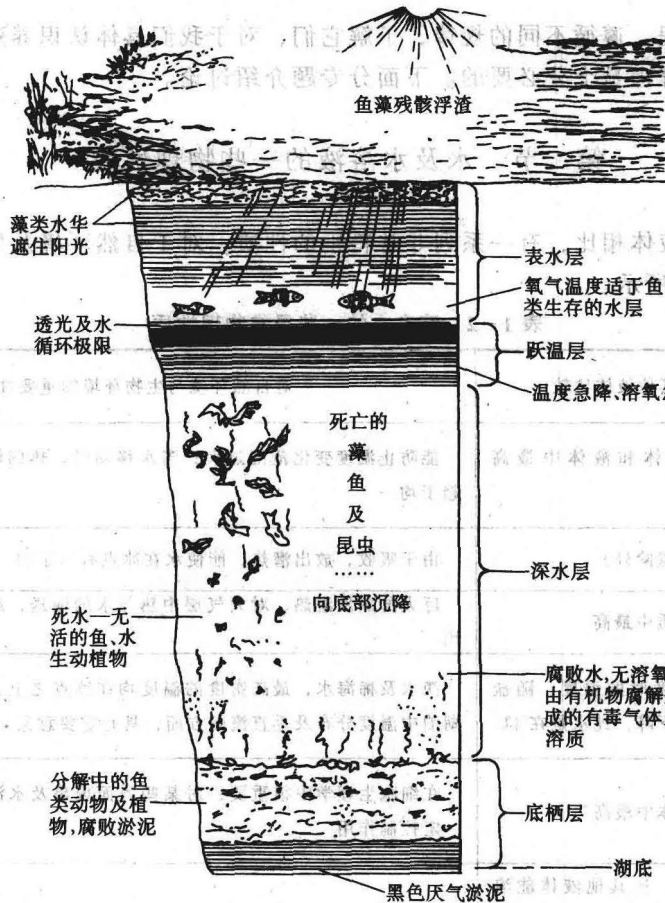


图 1-2 富营养化湖泊及水库内的常见条件示意图

(引自“Environmental Engineer's Handbook” vol.1, p.144, B.G.Liptake, 1974)

接触。水体底部与土壤、岩石接触。水体内部不仅溶有各种化学物质，还生活着多种生物。从化学观点看，这是一个复杂的多组分的分散体系；从生物观点看，则是一个精巧的生态系统。在这一系统内部，存在各种物理、化学及生物学作用。主要有：

①“水—气”、“水—泥”、“水—悬浮物”、“水—生物”界面处发生的各种过程，诸如物质交换、吸附、胶体行为等。

②水溶液内的化学反应。常见有中和、水解、成络、氧化还原反应等。

③新相的生成或消失。例如沉淀的生成与溶解、气体的吸收与逸散等。

④各类生物新陈代谢过程中的生物化学反应，特别是光合作用与呼吸作用。

⑤水的运动与停滞。

所有这些过程，都不是孤立的，而是相互联系、相互影响、相互制约的。它们的进行方向、速度及限度，不仅与水体本身的组成及特点有关，还直接间接地受大气过程（如光照强度、时间、气温、降水、风力等等）、土质特点以及整个流域的自然地理条件的影 响，因素很复杂。天然水水质的复杂多变特点，正是这些过程及其影响因素的复杂多变性的反映。

上述各项过程，遵循不同的规律，了解它们，对于我们具体认识养殖生产中的水质问题，做好水质管理是十分必要的。下面分专题介绍讨论。

## 第二节 水及水溶液的一些物理性质

纯水和其他液体相比，有一系列非常特别的性质，对于自然环境及生物环境有重要影响，如表 1-2 所示。

表 1-2 液态水的一些异常物理性质

性 质	与其他液体比较	对自然环境与生物环境的重要性
热 容	所有固体和液体中最高 (氢除外)	能防止温度变化范围过大；当水移动时，热的输送量大；使体温趋于均一
溶解潜热	最大（氢除外）	由于吸收，放出潜热，能使水在冰点有一定的“恒温”效应
蒸发潜热	所有物质中最高	巨大的蒸发潜热，对大气层中热与水的输送，起了非常重要的作用
热膨胀	最高密度时的温度，随盐度增大而下降，纯水是在 4℃	淡水及稀海水，最高密度的温度均在冰点之上，这种性质在控制湖泊中温度分布及垂直流转方面，具有重要意义
表面张力	所有液体中最高*	在细胞生理学中很重要；对某些表面现象及水滴形成与行为，有一定控制作用
溶解能力	一般说，比其他液体能溶解多种物质，并有较大溶解度	无论对自然现象或生物现象，都非常重要

(续)

性质	与其他液体比较	对自然环境与生物环境的重要性
介电常数	所有液体中以纯水最高	对于无机物的溶解行为，有头等重要性，因为水能使它们有更高程度的电离
电离度	很小	水为中性物质，既含 H <sup>+</sup> 离子，又含 OH <sup>-</sup> 离子
透明度	相对地较大	对红外及紫外部分辐射的吸收很大，对可见光部分，选择性吸收不大，因此，纯水是无色的；上述吸收辐射能量的特性，对自然现象及生物现象，均有重大意义
热传导	所有物体中以水最高*	除了在小尺度范围内（如在活细胞内）有其重要性外，在热量传送方面，分子热传导过程远不如涡动热传导过程重要

\* 汞及熔融液体除外。

其中，热膨胀、透明度、溶解能力，介电常数等，对认识养殖水化学现象及规律关系更大，下面择要介绍。

### 一、水的热膨胀

水体热分层及其变化：

一般液体都是热胀冷缩的，温度升高密度变小，温度降低密度变大，冷至凝固则密度最大。水与水溶液的情况则较复杂，详如图 1-3 所示。

由图可知：

1. 纯水在 4℃（严格地说为 3.98℃）时，密度最大，由 4℃ 起升温或降温，密度均逐渐变小，详如图 1-4 所示。

2. 一般淡水及盐度小于 2.47% 的海水，密度最大时的温度都在冰点之上，由密度最大时的温度开始，不管是升温，还是降温，密度均逐渐变小。由于这一特点，盐度小于 2.47% 的各种天然水体，即使在寒冷季节或地区，温度降至凝固点，结冰也是从水表面开始，底层水温仍在冰点之上。在冰雪覆盖的水体中，仍有水生生物活动，原因就在这里。

3. 当水的盐度大于 2.47% 时，则密度最大时的温度在冰点之下。因此，温度升高，则密度一直变小，温度降低，则密度一直增加，直至结冰为止。

水溶液的密度与温度之间的这种依赖关系，对于水体，尤其是静止水体中水的停滞分层与混合流转影响很大。若设淡水的冰点为 0℃，最大密度时的温度为 4℃，则淡水

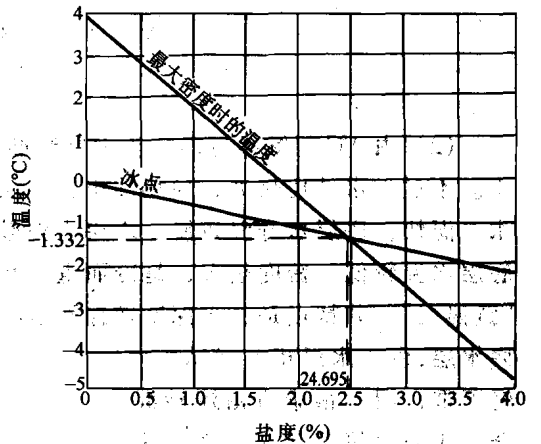


图 1-3 含盐量对水溶液凝结温度及最大密度时温度的影响



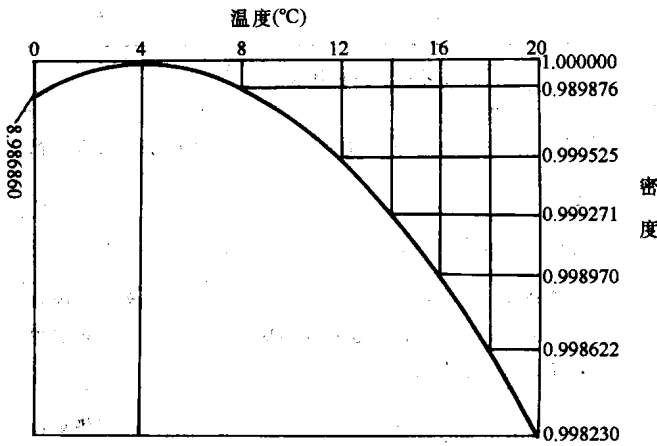


图 1-4 纯水密度与温度的关系

湖泊内水的停滞及流转有以下四种典型情况。

(1) 由 0°C 或 0°C 以下向 4°C 升温 当表层水温从  $\leq 0^\circ\text{C}$  逐渐升高时, 则水的密度相应增大, 至 4°C 时则密度最大。此时, 若底层水温低于 4°C, 则因表层水密度大于底层水, 会自行下沉, 尤其是在风的吹动下, 表、底水层, 极易流转, 直至整个水体都达 4°C 为止。这种情况称为“全同温流转期”, 如图 1-5A 所示。

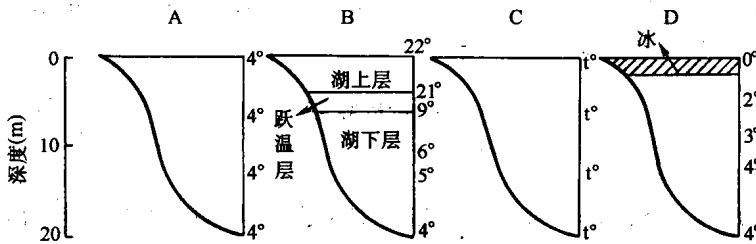


图 1-5 湖水分层与流转的季节变化  
(图中  $t' \geq 4^\circ\text{C}$ )

(2) 由 4°C 起继续升温 若天气转暖, 表层水温从 4°C 起继续升温, 则密度反而变小。不过, 水的比热大, 导热性小, 表层水吸收的热量不能迅速传给下层水。因此表层水升温快, 底层水升温较慢。表层水温较高, 密度较小, 是热而轻的水, 会留在表层。底层水温较低, 密度较大, 是冷而重的水, 会留在底层。在表层与底层之间, 常会出现“跃温层”, 其特点是, 水深度增加不多, 温度下降却很快, 温度梯度较大。此时, 表、底水层, 由于水温相差较大, 上轻下重, 因而很难自由流转混合, 成分层停滞状态。由于表层水温高于底层, 人们也常称之为“正分层”, 如图 1-5B 所示。

要注意的是, 在风的吹动下, 分层停滞的水也可在一定范围内垂直流转混合(如图 1-6

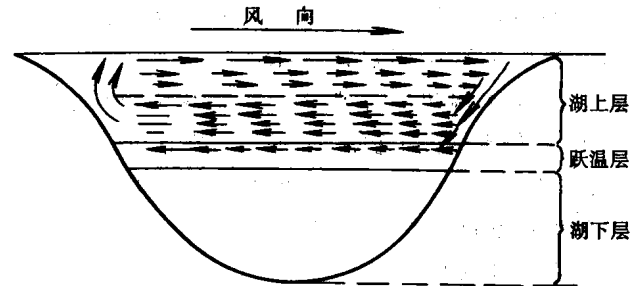


图 1-6 夏季停滞期内湖上层的风力搅混图解