

Quanguo Zhongdeng
Shuichan Xuexiao
Jiaocai

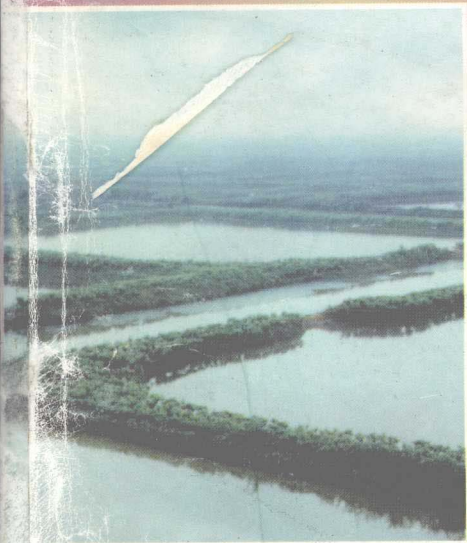
全国中等水产学校教材

淡水养殖 水化学

四川省水产学校 主编

淡水养殖专业用

中国农业出版社



12
91

全国中等水产学校教材

淡水养殖水化学

四川省水产学校 主编

淡水养殖专业用

中国农业出版社

封面设计：赵之公

S912
6299

全国中等水产学校教材
淡水养殖水化学
四川省水产学校 主编

责任编辑 牟晓春
出 版 中国农业出版社
(北京市朝阳区农展馆北路2号)
发 行 新华书店北京发行所
印 刷 北京东光印刷厂
* * *
开 本 787mm×1092mm 16开本
印 张 10.75 字数 246千字
版、印次 1993年5月第1版
1999年5月北京第3次印刷
印 数 6601~16600册 定价 12.00元

ISBN 7-109-02404-0



9 787109 024045 >

书 号 ISBN 7-109-02404-0/S·1566

编 者 的 话

《淡水养殖水化学》是中等水产学校淡水养殖专业基础课程之一，其主要任务是使学生了解水的化学成分与水生生物的相互关系；了解水体内部各化学因子的动态规律，能对养殖生产的水环境进行水质评价；掌握主要水化因子的分析方法，为养殖水环境管理提供科学依据。全书除绪言、附录外，内容分两个部分，第一部分为水化因子的动态规律及其控制因素与影响，第二部分具体介绍 26 个项目的分析方法。

本书是由四川省水产学校高级讲师陈远威主编，由四川省水产学校高级讲师周学思和山东省水产学校讲师路璧和协编。请四川师范大学化学系教授罗忠鉴和副教授鄢传辉审定。并请原在四川省水产学校从事分析化学及水化学教学长达 16 年，现为成都市红卫中学化学高级教师张明歆校核。在此谨向他们致以深切感谢。

本书由于编者水平有限，编写时间仓促，错误和不妥之处，在所难免，敬请从教同行和读者批评指正。

编 者

1991 年 8 月 22 日

目 录

绪言	1
第一章 基础知识.....	3
第一节 天然水的化学成分	3
第二节 天然水的一些物理性质	5
第三节 天然水体的流转混合及温度分布	7
第二章 主要离子	11
第一节 主要阴离子	12
第二节 主要阳离子	19
第三节 总含盐量	22
第四节 天然水的化学分类	24
第三章 天然水的缓冲性与 pH	26
第一节 决定天然水 pH 的因素	26
第二节 pH 在养殖生产中的意义	29
第四章 溶解氧	31
第一节 气体在水中的溶解度和溶解速率	31
第二节 水中溶解氧的来源与消耗	34
第三节 溶解氧的分布与变化规律	38
第四节 溶氧动态对水体生产的影响	42
第五节 防止缺氧窒息的措施	44
第五章 有机物质	47
第一节 概述	47
第二节 天然水体内有机物的变化	49
第三节 有机物在养鱼生产中的意义	53
第六章 营养元素	55
概述	55
第一节 氮	55
第二节 磷	59
第三节 其他营养元素	62
第四节 施肥应注意的问题	64
第七章 天然水的一般性质	70
第一节 自然界中水的循环	70
第二节 各类天然水的化学特性	71
第三节 我国水化学分区及内陆渔业区划	81
第八章 水污染和水资源保护	83
第一节 水污染及其危害	83

第二节 水资源保护	98
第九章 水质化学分析的概述	104
水质化学分析	111
实验一 水中游离二氧化碳的测定	111
实验二 碱度的测定	112
实验三 总硬度的测定	115
实验四 钙、镁的测定	117
实验五 氯化物的测定	118
实验六 硫酸盐的测定	120
实验七 pH 的测定	121
实验八 溶解氧的测定	124
实验九 总硫化物的测定	126
实验十 有机物耗氧量的测定	128
实验十一 铵盐的测定	129
实验十二 亚硝酸盐的测定	131
实验十三 硝酸盐的测定	132
实验十四 磷酸盐的测定	135
实验十五 硅酸盐的测定	136
实验十六 总铁的测定	137
实验十七 汞的测定	138
实验十八 镉的测定	139
实验十九 锌的测定	141
实验二十 铅的测定	142
实验二十一 铜的测定	143
实验二十二 总铬的测定	144
实验二十三 挥发性酚的测定	145
实验二十四 砷的测定	147
实验二十五 氰化物的测定	148
实验二十六 氟化物的测定	150
附录	152

绪 言

没有水就没有生命。水是生物生存的必要物质条件，是人类环境的要素，也是最宝贵的自然资源。

水是地球上分布最广的物质之一。地球表面70%以上为水所覆盖。水的总量约为 $1.4 \times 10^{18} \text{m}^3$ ，其中目前还未直接利用的海洋水为97.3%，淡水量只占2.7%。在淡水中，冰川又占淡水总量的75%，而与人类生活、生产关系最密切的河流水只有 $1.3 \times 10^{12} \text{m}^3$ ，仅占淡水量的0.03%，约占全球水量的0.0001%。

我国水资源的总量，初步估算约为 $2.7 \times 10^{12} \text{m}^3$ ，居世界第五位，而人均占有量却只有世界人均占有量的1/4左右，并不丰富。尤为突出的是水资源在时空分布上极不平衡。例如，长江流域和长江以南径流量占全国82%，而耕地只占全国的38%；黄河、淮河、海河三大流域径流量只占全国6.6%，而耕地面积却占全国的38%，再加上水资源时程变化大，年内年际分配不均匀，这些特点给用水带来许多特殊问题，水资源已成为我国许多地区经济发展的重要制约因素。

人类利用水资源是多方面的，发展渔业是其中之一。淡水鱼类养殖是淡水渔业的一个重要组成部分。它的总任务是通过经营管理使各种内陆水体能够生产更多、更好的鱼产品。从国内一些资料来看，目前养殖单产很不平衡，大面积山塘、水库、湖泊，每年单位产量低的不过几千克；池塘精养一般每公顷产量也只有几千千克，高的有7500~15000kg，个别的达30000kg。为什么总产会相差这么悬殊呢？主要与“种”、“饵”、“水”等因素有关。有了优良品种，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，高产才有物质和能量基础。所以，“种”和“饵”是非常重要的。至于水的问题，除了死鱼时，人们才会想到水质外，平时就很少考虑，而且也不深入。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”包含着深刻的科学内容。水是鱼类及其他养殖生物的生存介质，它为这些生物提供了一个立体的生活空间，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渡过。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：一是水要供给氧气，满足养殖生物的呼吸需要；二是水要供给养分，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；三是水要容纳水中生物的代谢废物及尸骸，使他们分解转化，防止它们积累为害；四是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；五是水中还有一些所谓“化学通讯物质”，其作用是传递信息，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。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乃至忍耐范围，即使有好的品种、饵料，养殖生物仍然不能正常生长，这不仅无法保证高产，还可能招致养殖生物大批死亡，使渔场荒废甚至积累毒物，危害人体健康。

目前，水资源问题不仅表现在水量上，而且在水质上也突出。近代由于工农业生产的发展，人口的增加和都市化，在用水量骤增的同时，带来大量的废污水排放，尤其在工业发达国家曾发生一系列“公害”事件，因而造成水体污染。由于水污染会降低水资源的可利用价值，给人民生活 and 自然生态带来全面性、长远性影响，所以水污染已成为举世瞩目的环境问题之一。

水化学的研究对象是天然水体和被污染水体。主要包括：水体的化学成分、成因及变化规律；测定这些成分含量的基本原理和方法；评价水体水质的方法等。

水化学是一门实践性很强的课程，在讲授理论的同时，有比较重要的实验课。要求学生通过实验加深有关理论的理解，并且还必须熟练掌握各种基本操作。在实验过程中必须具有严肃认真，实事求是的科学态度，绝不能粗心大意，草率马虎；同时还要认真观察，深入思考，培养分析问题、解决问题的能力。

水化学是环境科学的一个分支，涉及广泛的化学问题，需要较多的化学基础理论知识。水化学还与水文学、自然地理学、电子学等有着密切的关系。水化学为水资源的开发、利用、保护、防止污染提供必要的可靠的资料，对我国社会主义建设事业有重要的作用。近年来，水化学研究的内容和方法在不断地扩大和完善。可以预料，随着环境科学的发展，水化学亦将迅速地发展。

第一章 基础知识

第一节 天然水的化学成分

水产养殖生产虽有多种方式，如大水面天然增殖、池塘精养、高密度流水养鱼、循环过滤工厂化养鱼等，它们所用的水源，归根到底都来自天然水，水中的化学成分决定了所用天然水的水质。因此，对天然水的化学成分必须有基本的了解，这对我们认识养殖水体的水质特点是十分重要的。

一、天然水水质的复杂多变性 我们知道，水良好的溶剂，绝对不溶于水的物质是没有的。自然界中的水是在不断地循环变化，水在阳光照射下不断地从江河、湖泊、海洋中蒸发，在高空冷凝成为雨或雪降落到地面，以地面径流或渗流形式，重新回到江河、湖泊、海洋，然后再蒸发、冷凝下降至地面，如此川流不息、循环交换不已。在循环过程中水与各种物质接触、作用，使之溶解或悬浮于水中。因此各种天然水不是纯水，而具有复杂的组成、多变的特点。主要表现在以下几方面：

1. 水中溶存的物质，种类繁多，数量悬殊，在人们迄今已知的 107 种元素中，在天然水中检出的已有 80 多种。这些成分的含量差别很大，例如海水中的 Cl^- 离子含量高达 $10\sim 20\text{g/L}$ ，铜的含量只有约 0.003mg/L ，钒的含量更少，不到 10^{-17}g/L 。

2. 水中溶存物质的存在形式多种多样，就物质在水中分散粒径来说，大小相差可达六个数量级以上，小的仅几个埃，以真溶液存在。大的在数百微米以上，构成多相体系。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。

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，称为“有效形式”；有的是有害的，称为“有害形式”。例如氮以 N_2 存在时，多数浮游植物不能利用，数量多时可能使鱼苗得气泡病；以 NH_3 存在时，浮游植物可以吸收利用，是有益的，对鱼类及其他动物则有毒害作用。

3. 水中溶存的物质，不论是质与量的组成，还是分散状态、存在形式，都是在不断运动变化的，有些变化可使水中某些物质浓度增大，称为“增补作用”。若增补来自水体内部，则称为“再生”；若增补来自水体之外，则称为“输入”或“流进”。相反，有些变化会使水中某些物质浓度减小，称为“消耗作用”。离开水体而去的消耗称为“输出”或流失。水体内部的消耗作用，包括有益的吸收利用和无益的消耗浪费。

如果增补作用与消耗作用速度达到相等，即达到动态平衡。此时所述有关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”，可称为稳态平衡。这种平衡与一切化学平衡一样，是在一定条件下建立起来的暂时的、相对的平衡。一旦条件改变，旧的稳

态平衡随之破坏，并在新的条件下建立新的稳态平衡。由于这种矛盾运动的不断进行，可使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 24h 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、水区的水质也可不同，前者称为“垂直分布”，后者称为“水平分布”。

以上所述是天然水水质的一些共性。不同地区的天然水体，由于所处自然地理条件不同，所受的影响也不一样。所以它们的复杂多变性常常还各有自己的特点，即所谓的地方色彩，必须具体调查分析。

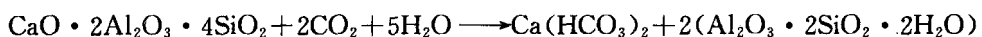
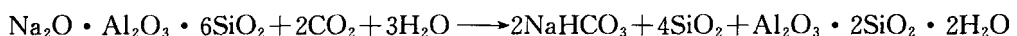
二、天然水中的常见化学成分 尽管天然水中的化学成分是复杂多变的，但在了解水中的化学成分时，还是有一定规律可循。在与生物有关的水化学研究中，人们常根据各种天然水所含主要成分大体相同以及对水生生物影响的一些共性，把天然水中的化学成分大体分为六类。

1. 溶解气体 O_2 、 N_2 、 CO_2 等。
2. 主要离子 包括四种阳离子和四种阴离子： Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Na^+ 、 K^+ 、 HCO_3^- 、 CO_3^{2-} 、 SO_4^{2-} 、 Cl^- 。
3. 营养盐类 包括三种无机氮化合物，即 NO_3^- 、 NO_2^- 、 NH_4^+ ，磷酸盐、硅酸盐、铁等。
4. 有机物质 指溶解的悬浮的各种有机物质，包括淀粉、脂肪、蛋白质及其不完全分解的产物等，还包括腐植质类物质等。
5. pH 是表示水的酸碱性的指标。它是重要的水化因子和生态因子，对生物和水质有着重要影响。
6. 工业污染物 随着工业的发展，各种工业废物进入天然水体的量日益增多，汞、镉、铬、铅、砷、酚及氰化物等都是天然水中常见的工业污染物。随着人们对环境保护工作的重视，这类有毒有害物质进入水体的量将逐渐减少。

三、天然水化学成分的主要来源 天然水中的各种化学成分主要来自以下几个方面：

1. 从空气中溶解，空气中的各种成分可以通过气—液界面溶于水，这一作用对大气降水的化学组成影响很大，1000ml 雨水在下落的过程中可洗涤约 $33 \times 10^4 l$ 空气，空气中的成分将大量溶于水中。除 N_2 、 O_2 等接近饱和外，还含有 SO_4^{2-} 、 Cl^- 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 K^+ 、 Na^+ 以及 NO_3^- 、 NO_2^- 等。大气降水的总含盐量一般在数十 mg/L。

2. 对岩石、土壤的溶滤作用 水与土壤、岩石接触，可将其中可溶组分溶解。在沉积岩内，常含有多量 $NaCl$ 、 $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ 、 $CaCO_3$ 、 $MgCO_3$ 等，前二者本身可溶于水中，后者当水中有 CO_2 存在时，可转变为易溶的酸式盐。各种长石经风化后也会生成易溶成分：



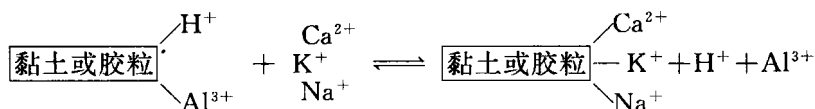
土壤中含有许多可溶性无机盐及有机物质。某些干旱地区的土壤含易溶盐分很高，与这种土壤接触的水，含盐量就相对较高。

3. 水中生物的分泌排泄和微生物的分解转化作用 水生生物在其生命活动过程中，要不断分泌排泄其代谢产物，生物死亡后的尸体会被微生物分解并再合成。这是水中有机物、氮、磷等营养物质的主要来源。

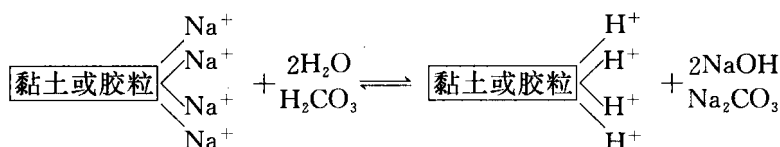
4. 离子的交换吸附作用 天然水中存在着粘土、腐殖质等胶态、悬浮态微粒，它们带

有负电荷，其表面吸附着一些可以代换下来的阳离子。腐殖质胶体的交换容量*较大，一般可达 150~700mmol/100g； SiO_2 胶体的交换容量较小，一般约有 10~80mmol/100g。

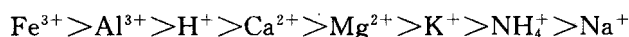
交换吸附作用是可逆的过程，进行到该条件下达到平衡为止。例如，酸性土壤胶粒所具有的可交换性阳离子中 H^+ 、 Al^{3+} 较多，当水中其他阳离子浓度增大时，会依下式把 H^+ 、 Al^{3+} 交换解吸，使水中 H^+ 离子浓度增大：



又如，盐碱土所具有的可交换性阳离子中 Na^+ 较多，当水中 CO_2 浓度增大时，可依下式进行交换吸附：



不同的离子被吸附的难易程度不同。一般首先决定于它的电价，电价越高的离子越易被吸附。电价相同时，离子半径大（水化离子半径小）的易被吸附。其他条件相同时，阳离子被土壤胶粒吸附的顺序是：



带正电荷的胶粒则具有可交换的阳离子。阴离子被带正电荷的胶粒吸附的顺序是：



第二节 天然水的一些物理性质

一、水的热学性质 水是热的不良导体，如果不发生流转混合，热量由水体的一端传递到另一端的速度是极慢的。

热容：在所有固体和液体中，水的热容最高（除氨外）。

熔化潜热：在所有固体和液体中，水的熔化潜热最高（除氨外）。

蒸发潜热：在所有物质中，水的蒸发潜热最大。

上述热学性质对稳定水温有积极作用，对水生生物是有利的。

热膨胀：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 1-1 和图 1-2 所示：

由图可知，纯水冰点为 0°C ，最大密度时的温度为 4°C (3.98°C)，由 4°C 起升温或降温密度均逐渐变小，即 4°C 以上，水是“热胀冷缩”的， 4°C 以下，水是“冷胀热缩”的。含盐分的天然水，冰点和最大密度时的温度都随盐度的增加而下降。最大密度时的温度随盐度的增加而下降得快，冰点随盐度增加下降得慢，两线相交于盐度为 24.7%，温度为 -1.35°C 处，即盐度为 24.7% 的水，它的最大密度时的温度与冰点相同，均为 -1.35°C 。盐度小于 24.7% 的水，最大密度时的温度高于冰点，由最大密度时的温度开始，不管是升温，

* 相当于 100g 干物质所具有的可交换阳离子的总量（以毫摩为单位）称为该物质的交换容量。

还是降温，密度均逐渐变小。由于这一特点，盐度小于 24.7‰ 的各种天然水体，当温度降至凝固点，结冰都是从水表面开始，底层水温仍在冰点之上。这时对鱼类的越冬是有利的。

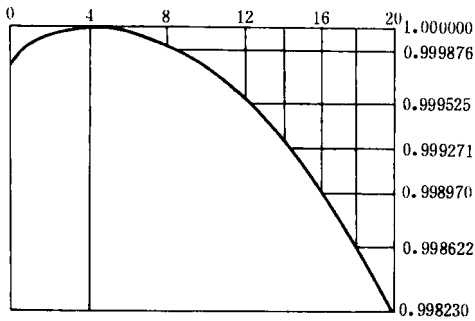


图 1-1 纯水密度与温度的关系

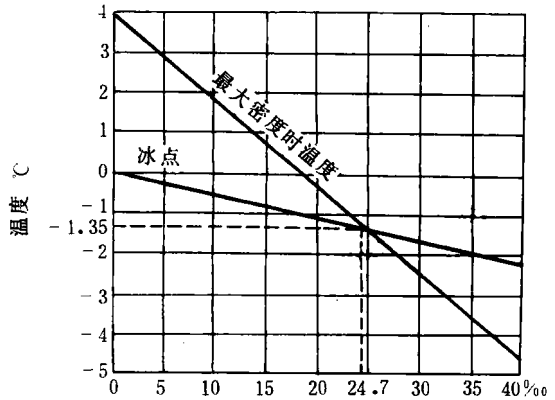


图 1-2 含盐量对水溶液的冰点及最大密度时温度的影响

二、水的透辐射性质和水的透明度

(一) 水的透辐射性质 抵达水面的太阳辐射，一部分被水面反射，回到大气中，一部分进入水体，被水吸收或向深处透入。影响进入水体内部的有效太阳辐射能的主要因素是：

1. 抵达水面的太阳辐射总量 这又与云层覆盖程度、海拔高度、纬度、日长等有关。

2. 水面对光的反射性 主要与太阳的高度角（指太阳光线与地平面的夹角）有关。太阳高度角较大（30°以上），因水面反射而损失的太阳辐射能很小。太阳高度角小于 30°，随高度角减小，反射损失的太阳辐射能迅速增加。太阳位于天顶时，98% 的太阳辐射可穿过水面进入水体。若太阳位于地平线附近，则几乎全部太阳辐射被水面反射。可见早晨和傍晚被水面反射损失的阳光较多，进入水中的阳光能量较少，水中的“白天”远没有大气中的白天那么长久。

水面有波浪时，会影响水面对光的反射性。太阳高度角较大时，波浪会增加反射损失。太阳接近地平线时，波浪则使反射损失减小。

3. 水体的浑浊度 悬浮在水中的黏土粒子、有机碎屑、浮游生物、微生物、各种沉淀及絮凝物，都能形成浑浊度。浑浊度高，光的吸收、散射损失也大。

进入水体的太阳辐射，一部分被水吸收，一部分被悬浮微粒吸收或散射，一部分继续向深处穿透。透过水面进入水体内部的光能随穿透径（水深）增加而衰减。图 1-3 表示了光在穿透清洁水时能量随深度的相对变化。

太阳辐射线中，红外线、紫外线最容易被水吸收，能量衰减很快，大部分能量在表水层被吸收消耗，如图 1-3 中的曲线 a、b。水对可见光的吸收较弱，其中穿透能力最强的是蓝绿色光，其光随深度增加衰减很慢（曲线 d），而红色光的衰减则快得多（曲线 c）。若水的浑浊度较大，则光随深度的衰减得更快。有人研究得出，照射到湖面的太阳辐射能量的 80% 被表面 1m 厚的水层所吸收，并且大部分能量消耗在最表面的 20cm 水层中，这些辐射能被吸收后转变为热能，使表层水温升高。若无风，太阳辐射只能加热表层水，对深层水

的温度影响很小。

上述水的透辐射性质，对水中浮游植物可能产生以下三种影响：

(1) 光抑制区：光强过高，抑制浮游植物生长。在光照强的白天，最表水层可发生这一情况。

(2) 光适宜区：光强适宜，在其他条件合适时，浮游植物可以饱和速度进行光合作用。日照强烈的次表水层，阴天或日照不强的最表水层，多属这种情况。

(3) 光限制区：光强太弱，即使其他条件适宜，植物也无法生长。

(二) 水的透明度 把透明度板(直径为20cm 的黑白相间的圆盘)沉入水中，至恰好看不见板面的白色，此时水的深度即为透明度。

透明度是进入水体内的阳光能量大小的一种量度，也是水体能量流动的能源大小的一种量度。不同水体，由于影响进入水体内的有效太阳辐射的因素互不相同，它们的透明度可以相差很远，小的不足20cm，大的可达10m左右。

经验表明：透明度深度下的照度，仅为水面照度的15%左右。

在表水层，阳光充足，植物可正常生长，动物所需的有机营养主要在这一水层内生成，称为营养生成层。

底水层，光强不足或没有光线，植物不能正常生长，有机营养不能合成积累，相反地，有机营养物质被分解消耗，称为营养分解层。

在营养生成层与营养分解层之间的某一深度，有机营养的合成量与分解量大体相等，称为“补偿点”，相应的水深称为“补偿深度”，约为透明度的两倍。

显然，在营养生成层与营养分解层内进行着不同的化学反应，这是导致天然水体化学成分垂直分布不均一的重要原因。

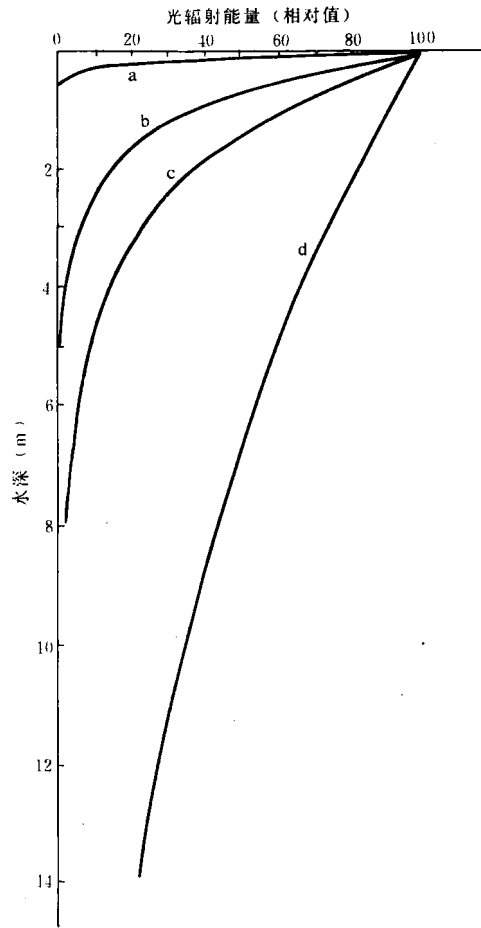


图 1-3 光辐射能量在水中的衰减

第三节 天然水体的流转混合及温度分布

一、水的混合作用 在天然水体中，水的混合作用可分为因密度不同引起的自动混合和因风力引起的强制混合两种。

水的自动混合作用是指表层水密度增大，与密度较小的下层水之间发生对流交换作用。表层水密度增大，是由于温度下降（水温大于4℃）或温度上升（水温小于4℃）所引起。

这种因上下水层的密度差而引起的自动混合，又称为“密度环流”。湖水或池塘水在升温或降温时期，都是岸四周的浅水区变化大。降温时期岸边水先冷却，若在 4°C 以上，密度增大，会形成如图 1-4 所示的环流。 4°C 以下的水在升温时期，也有类似的环流形成。这是简单的模式，具体情况不同，所形成的环流状况也不同。在自然条件下，纯密度环流较少发生，常伴有风力作用的参与。

在风的吹拂下，会形成如图 1-5 所示的风动环流。在风力作用下，表层水随风力方向运动，造成迎风岸的水上涨，背风岸的水下落，由水位差的作用又使下层水向相反方向流动，从而使不同水层的水发生所谓强制混合作用。若风力不大，只造成部分流转混合，当风力很大时，则流转混合较为彻底。

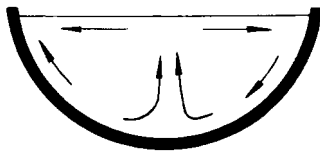


图 1-4 湖水的密度环流

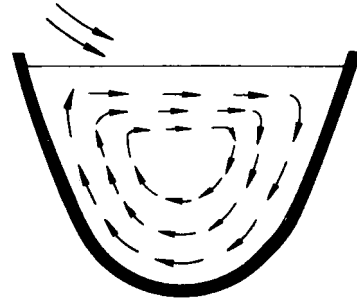


图 1-5 风动环流示意图

二、天然水体内的热分层和季节变化 我国北方地区一些较深的湖泊、水库等相对静止的水体，水温的垂直分布有典型的季节特征：夏季水温上层高、下层低，呈温度的正分布；冬季水温下层高、上层低，呈温度的逆分布；春秋两季是表底水层温度近于相同时期（称为全同温期）。下面分别加以讨论。

1. 冬季的逆分层期 我国北方地区的湖泊、水库在冬季都可封冻，表层被一定厚度的冰层覆盖，紧贴冰下的水温为 0°C ，随着深度增大温度略有增加，到底层为 4°C ，也可能是 $2\sim 3^{\circ}\text{C}$ 或更低些。图 1-6d 所示是典型情况。由于水温是上层低下层高，称为温度的逆分布。此时温度随深度的变化是缓慢的，故无明显的分层现象。

2. 春季全同温期 春季气温回升，大地转暖。水面冰层融化后，在太阳辐射下，被加热的表层水温度向 4°C 方向升高，其密度大于温度较低的下层水，产生密度环流混合作用直到上下层水温均为 4°C ，密度环流停止，故称为“全同温期”。如图 1-6a 所示的典型情况。春季一般多风，当达到全同温后，风力的强制混合作用易将整个水体彻底混合。如果一边刮风一边受阳光的照射，则水体上层被加热的水可不断地与下层水混合，使上下水层同时升温。所以春季的全同温期不仅限于 4°C ，而是可以延续到 4°C 以上，例如 10°C 、 15°C 等，视风力及湖盆形状而定。

春季的全同温期，对养殖水体中的鱼类及饵料生物都是有利的。

3. 夏季正分层期（停滞期） 夏季是温度持续向 4°C 以上升高的时期。在阳光照射下，被加热的表层水难于将其热量传递到下层，如果在这一时期内无风或少风，天气晴朗，则水体表层温度能很快上升，使上下水层温度差增大，密度差也增大，上轻下重，呈现温度的正分布。此时在表底水层之间常会出现“温跃层”，即在表底水层间某一深度处，水深改变不大而水温迅速下降的水层。由于表底水层温度相差较大，上轻下重，水体很难自由流转

混合,所以这一时期的水体称为“停滞分层期”。在温跃层以上的水层温度高,温度随深度变化不大;在温跃层以下的水层温度低,温度随深度的变化也不大。如图 1-6b 所示的典型情况。底层水温不一定是 4℃,经常是高于 4℃,这具体决定于春季全同温期所延续的温度。

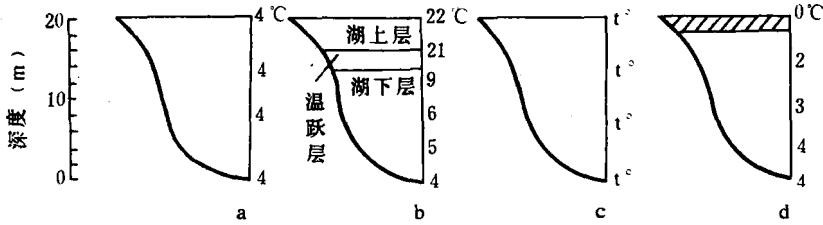


图 1-6 湖水分层与流转的季节变化

温跃层形成后,风力的强制混合作用只能在温跃层以上进行,而不能混合到底。风力增大,强制混合的深度加大,温跃层则会向下移;当风力足够大时,温跃层可能消失。

深而狭窄、岸高且多树的水体,在夏季连续多日无风或仅有微风的日子,容易形成温跃层。

温跃层就象一个屏障,把上下水层隔开,上下水层中的物质得不到交换,久而久之,上下水层中的化学成分可能有很大差异。这种情况会影响鱼产力,对养殖生产不利。

图 1-7 是辽宁大伙房水库大坝西侧水温的垂直分布,从图中可见,在 14~18m 间有一个温跃层。图 1-8 是无锡市河埭大队的一个小鱼池的水温垂直分布与时间的关系,从图中可见,水的对流交换只能进行到 80cm 深处。80cm 以下的水温在 1 天之中基本没变化,这一水层的水温随深度增加迅速下降,即所谓的温跃层,只不过由于池水较浅,温跃层以下的深水层不存在。

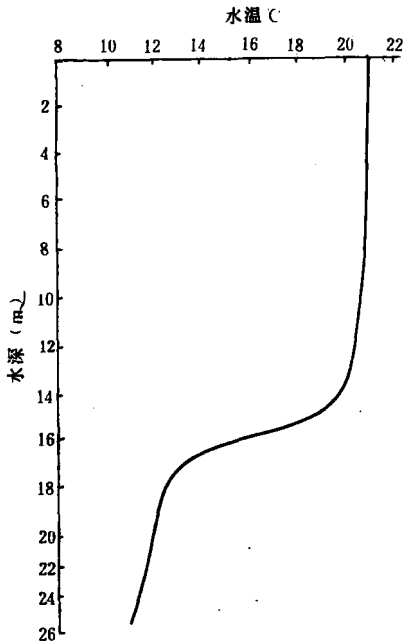


图 1-7 大伙房水库水温的垂直分布

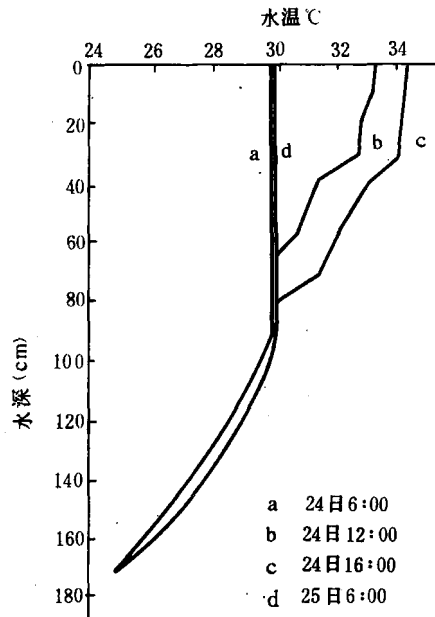


图 1-8 无锡某鱼池水温的垂直分布
(1977年7月)

4. 秋季全同温期 秋季天气转凉, 表层水温向 4°C 方向下降, 密度增大, 变重下沉, 次表水层则对流上升, 发生部分流转混合。若表层水温继续下降到等于或低于底层水温, 则表底层密度差消失, 甚至上重下轻, 使表底层对流混合, 或在风的吹动下, 完全流转混合, 从而使整个水体温度一致, 也呈全同温流转状态。如图 1-6c 所示。

我国南方地区的一些湖泊、水库、池塘全年水温都在 4°C 以上, 因此, 只存在 4°C 以上的正分层及流转混合。一般说来, 春、夏趋于正分层, 秋、冬趋于流转混合。

在温度剧烈变化的日子里, 水的分层及流转混合, 还可在 1 天内交替出现: 白天趋于正分层, 晚上趋于流转混合。

水的分层及流转, 对于水的化学成分分布、变化影响极大。水分层时, 水化学成分也垂直分层。水体流转时, 水化学成分垂直分布趋于均一。因此, 了解水体分层及流转情况, 是掌握水化学成分分布特点的重要依据。经常测定记录不同水层的水温变化, 是了解水体分层或流转状况的有效方法。

第二章 主要离子

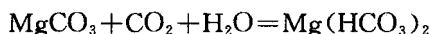
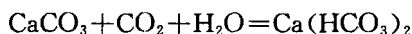
水中溶存数量多的离子称为主要离子。各类天然水中的主要离子有 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Na^+ 、 K^+ 、 HCO_3^- 、 CO_3^{2-} 、 SO_4^{2-} 、 Cl^- 等，它们构成的盐类约占水中溶解盐类总量的 90% 以上。在各类天然水中含盐量及主要离子的比例关系有很大差别。在多数淡水中，阳离子以 Ca^{2+} 为主，阴离子以 HCO_3^- 为主，而在海水中，阴离子则以 Cl^- 为主。

各主要离子含量，若以“mmol/L”为单位（一价离子以“离子”为基本单元，二价离子以“1/2 离子”为基本单元）表示时，则四种主要阳离子之和与四种主要阴离子之和有近似相等的关系，即：

$$\sum \text{Na}^+ + \text{K}^+ + \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} \approx \sum \text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-} + \text{SO}_4^{2-} + \text{Cl}^-$$

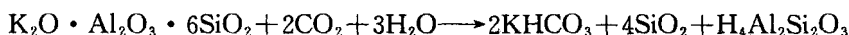
天然水中的主要离子，主要来自土壤、岩石及有关矿物。

众所周知，几乎所有钾盐、钠盐、大多数硫酸盐、金属氯化物和重碳酸盐都易溶于水。这些盐类在自然界中分布极广，例如沉积岩特别是海成沉积岩内，常含多量 NaCl 、 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 、 CaCO_3 、 MgCO_3 等，前两者可溶于水中，后二者在 CO_2 存在时，可转变为易溶的重碳酸盐：

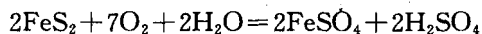
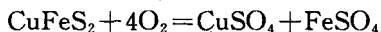
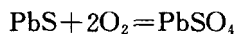


盐碱土中含多量 NaCl 、 Na_2CO_3 ，均易溶于水。

各种长石经风化后可以形成高岭土及可溶性碳酸盐类。例如：



一些重金属硫化物经氧化风化后，也可变为易溶成分。例如：



天然水在不断循环运动过程中，流经各种土壤、岩石及矿物，与之接触时，上述易溶物质溶进水中，并电离成 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 HCO_3^- 、 CO_3^{2-} 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} ，成为水中主要离子。与此同时，一些水合氧化铝、水合氧化铁、水合氧化硅以及铝硅酸盐、矿物微粒也被带进水中，成为水中矿物胶体的主要来源。

水中主要离子的动态主要决定于各种非生物因素（地质、地理条件、蒸发与降水强度，结冰、融冰情况，水源补给以及物质本身的理化特点），生物影响是次要的。其一般倾向是：多雨潮湿地区，水中含盐量较低；干旱地区，水中含盐量较高。且因 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 的碳酸盐、硫酸盐的溶解度较小，过饱和后即行析出，故水中主要离子相对比例亦发生变化，阳离子由 Ca^{2+} 为主过渡到以 Na^+ 为主，阴离子由 HCO_3^- 为主过渡到以 Cl^- 为主。

对具体水体而言，若水源补给以雨水或冰雪融化为主，则含盐量较低；若以地下水补给为主，则含盐量较高。但水质情况较复杂，与当地地质条件关系极大。受海水影响的淡