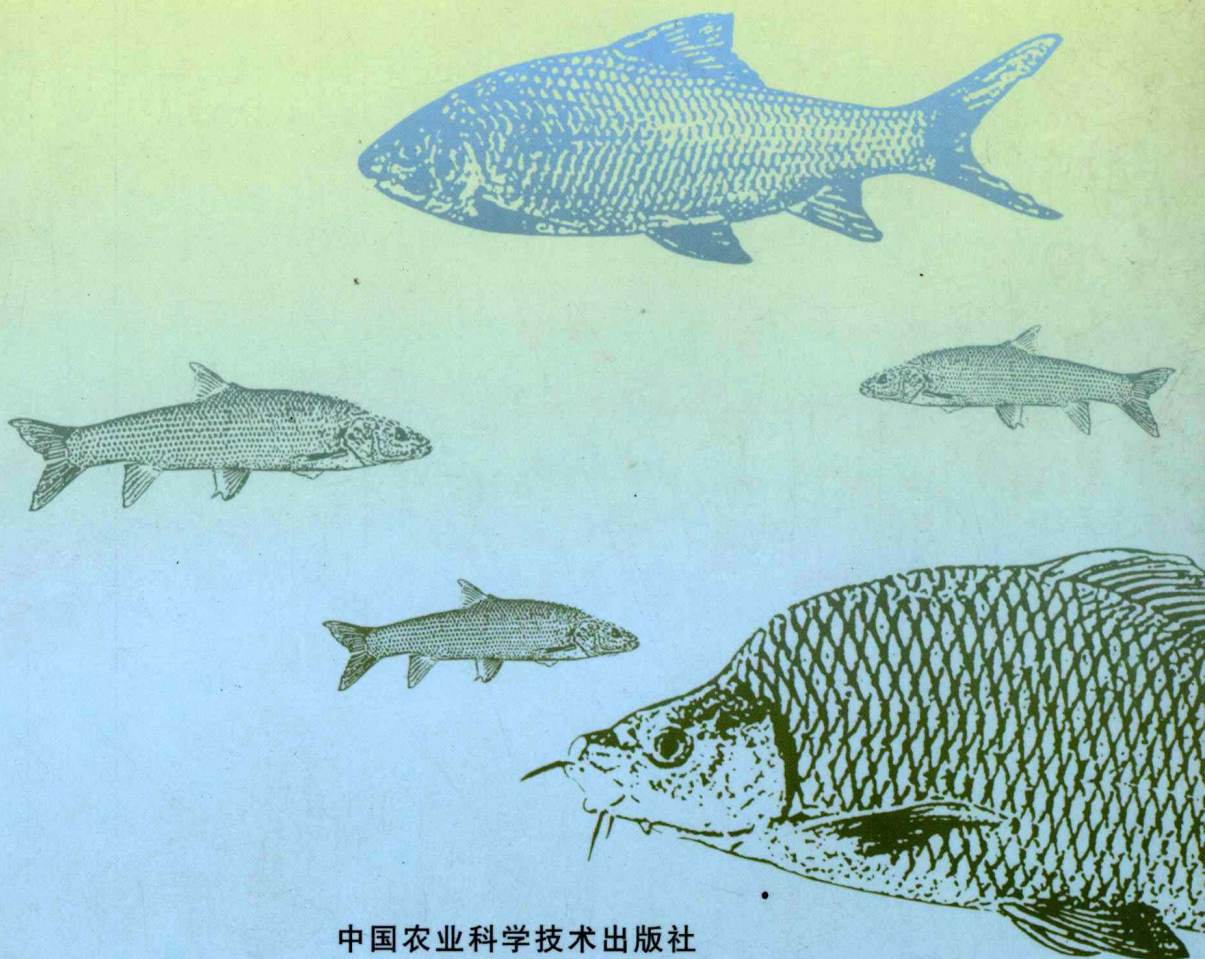


淡水养殖**水体** **水质**的调控和管理

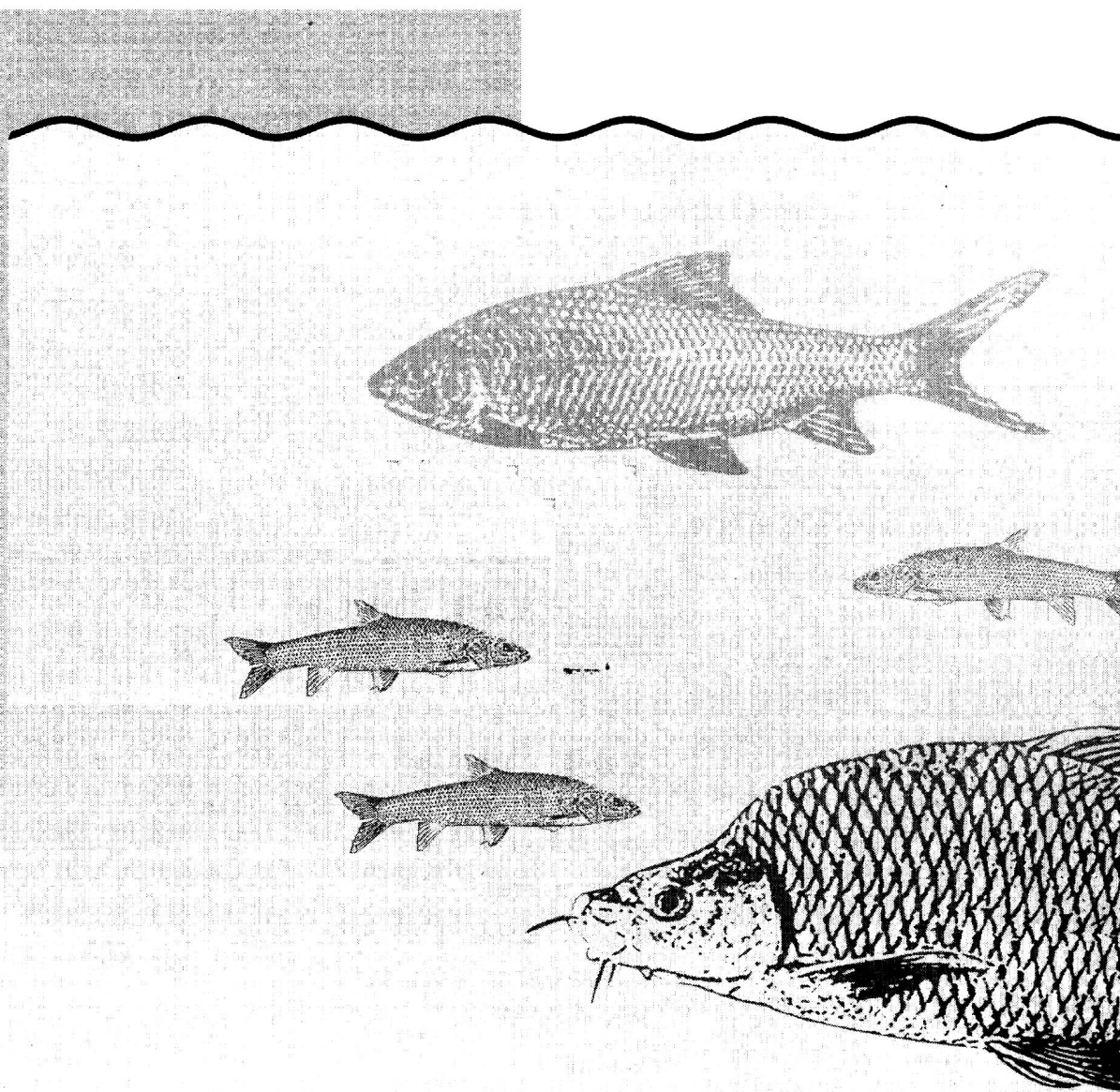
杨洪 邵强 等编著



中国农业科学技术出版社

淡水养殖水体 水质的调控和管理

杨洪 邵强 等编著



中国农业科学技术出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

淡水养殖水体水质的调控和管理/杨洪, 邵强等编著. —北京:
中国农业科学技术出版社, 2005. 8

ISBN 7-80167-809-5

I. 淡… II. 杨 III. 淡水养殖-水质控制 IV. S964

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 053495 号

责任编辑
出版发行
经 销
印 刷
开 本
印 数
版 次
定 价

崔改系 闫庆健
中国农业科学技术出版社 邮编: 100081
新华书店北京发行所
北京奥隆印刷厂
787mm×1092mm 1/16 印张: 14.25
1~1 000 册 字数: 371 千字
2005 年 8 月第一版, 2005 年 8 月第一次印刷
28.00 元

参编人员

杨 洪 (河南师范大学生命科学院)

邵 强 (河南师范大学生命科学院)

李好琴 (河南省新乡市水产技术推广站)

陈国贤 (河南省平顶山市水产技术推广站)

靳惠标 (河南省平顶山市水产技术推广站)

曹玉莲 (河南省新乡市水产技术推广站)

前 言

我国内陆地区含有较为丰富的淡水资源，河流、湖泊、池塘、水库星罗棋布，水资源总量居世界第三位，水体总量达到 2.7 万亿 m^3 ，具有较为理想的淡水养殖条件。但由于我国人口众多，人均拥有的淡水养殖资源比较匮乏，分布又很不平衡。为了充分发挥有限的淡水养殖生产资源，必须从各个方面研究增养殖的诸环境条件，水质的调控和管理是其中的一个重要环节。

高密度养殖会引起一系列问题：化学需氧量升高、耗氧加剧、溶氧和底泥 pH 降低，一些有毒物质在水体中大量积累，水质恶化，持续下去会造成生态系统的破坏。从可持续发展的观点考虑，对淡水养殖的水质调控有更高的要求，在追求增养殖的同时，还要考虑对生态方面的影响，水质调控技术在这种情况下具有更重要的意义。

做好水质的调控和管理，一方面要了解养殖水体中所发生的生物、化学、物理过程，充分了解水体中物质产生迁移、转化的规律以及水质指标的常规检测方法；另一方面，水质调控与管理具有很强的实践性，其技术发展往往建立在经验积累的基础上。本书的出发点，就是寻求水质调控经验与理论之间的联系，在生产实践与基础理论之间搭建一座桥梁。首先，从多学科交叉的角度阐述淡水养殖水体内各种水质指标的变化规律、影响因素和检测方法，其次对水质指标的生物和生态方面的意义有较为详尽的论述，最后归纳总结过去几十年，特别是近十年来在水质调控方面的优秀科研成果和成功经验。作者希望通过本书的相关内容，为从事淡水养殖的专业人员提供有价值的、实用的方法和信息。

由于作者水平有限，缺点和错误在所难免，敬请专家和读者不吝指正。

编 者

2005 年 3 月

目 录

第一章 水体和淡水养殖水体	(1)
第一节 水体的起源类型和循环	(1)
第二节 水体的构成和影响因素	(6)
第三节 水生生态体系	(8)
第四节 淡水养殖体与淡水养殖	(12)
第二章 水体的主要理化特性和理化指标	(18)
第一节 水质和水质指标	(18)
第二节 水的一些物理化学性质和相应的指标	(18)
第三节 水体中的离子量的表示及其分类	(22)
第四节 水的硬度	(25)
第五节 水的酸性、酸度和碱度	(26)
第六节 反映有机物含量的水质理化指标	(28)
第七节 营养盐因子	(29)
第八节 水中气体的溶解度	(29)
第三章 与水质相关物理化学生物过程	(33)
第一节 物理因素	(33)
第二节 化学和生化反应	(36)
第三节 界面行为	(46)
第四节 水体中物质的迁移过程	(51)
第四章 天然水的 pH 和酸碱平衡	(56)
第一节 天然水的 pH	(56)
第二节 二氧化碳平衡系统	(59)
第三节 水中硫化氢的电离平衡	(66)
第五章 水环境中的溶解与沉淀平衡	(69)
第一节 天然水中各类固体的溶解平衡	(69)
第二节 天然水中碳酸钙的溶解和沉淀	(72)
第三节 碳酸盐和氢氧化物共存时的分级沉淀	(75)
第六章 水环境中的氧化还原反应	(78)
第一节 氧化还原电位和电子活度对物质形态的影响	(78)
第二节 氧化还原电位的影响因素	(82)
第三节 不同氧化还原水环境中元素的存在形态	(83)
第七章 水体中 pH、硬度与碱度的生物学意义与调控	(89)
第一节 水体中 pH 与硬度、碱度的关系	(89)
第二节 天然水体的硬度及生物学意义	(90)

第三节	水的碱度	(93)
第四节	pH 值对水质及养殖生产的影响	(98)
第五节	养殖水体内二氧化碳平衡系统的管理原则	(100)
第八章	溶解氧的管理	(103)
第一节	溶解氧的溶解平衡	(103)
第二节	影响水体内容氧的实际因素	(105)
第三节	溶解氧的分布变化规律	(108)
第四节	溶氧动态对水生生态的影响	(113)
第五节	养殖水体内容氧的预测	(118)
第六节	养殖水体溶氧控制	(121)
第九章	初级生产与生物营养元素	(126)
第一节	营养元素动态对初级生产的影响	(126)
第二节	天然水中的氮	(128)
第三节	天然水中的磷	(135)
第四节	天然水中的硅、碳和微量矿物质营养元素	(141)
第五节	水质富营养化	(144)
第六节	施肥与投饵	(152)
第十章	水中的有机物	(159)
第一节	水体中有机物概述	(159)
第二节	水体中有机物的变化及意义	(162)
第三节	有机物污染与自净	(166)
第四节	水中的腐殖质	(171)
第五节	水中的持久性有机污染物	(173)
第十一章	界面行为在水质调控中的应用	(178)
第一节	固体的吸附作用	(178)
第二节	水环境中的胶体对水质的影响	(182)
第三节	凝聚作用	(187)
第四节	底泥的可交换酸性及石灰的调控作用	(191)
第十二章	养殖水环境中有毒有害物质	(197)
第一节	天然水中污染物的种类与来源	(197)
第二节	有毒物质的影响	(202)
第三节	影响毒物实际毒性大小的因素	(206)
第四节	毒性评价指标与毒性试验	(208)
第五节	渔业水体中有害物质的去除	(212)

第一章 水体和淡水养殖水体

第一节 水体的起源类型和循环

一、水的形成

水是地球上分布最广泛的一种物质，它存在于大气和地壳中，并为动植物生命体的重要组成部分。可是，地球刚刚诞生时，地球上没有河流，也没有海洋，更没有生命。地球表面是干燥的，大气层中也很少有水分。那么，汇集海洋、河流、湖泊中的水是从哪儿来的呢？目前虽未定论，但一般认为地球上的水与地球的发生和发展有密切联系，它是地球演化过程中的一种产物。

大气中的水蒸气就是地球上水的先驱。那么，水蒸气又是从何来的呢？经有关方面研究知道，组成原始地球的固体尘埃，实际上就是衰老的星球爆炸而成的一定量碎屑，这些碎屑多是无机盐，其晶格内部往往隐藏着许多水分子，即所谓结晶水合物。如 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ ，这些结晶水在高温之下，离析变成水蒸气。喷到空中的水蒸气达到饱和时便冷却成云，以降水形式落到地面上来，聚集在低洼处，逐渐积累成湖泊和河流，最后汇集到地表最低洼区域，形成海洋。

地球上的水在开始形成时，不论湖泊或海洋，其水量不会很多。随着地球内部产生的水蒸气不断送入大气层，地面水量也不断增多。经历几十亿年地球演变过程，终于最后形成如今浩瀚的海洋、奔腾不息的河流、烟波浩渺的湖泊等多种形式规模巨大的水资源。

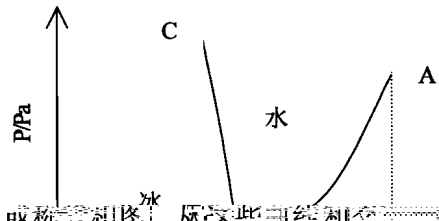
二、水的相变

在标准大气压力下，水的凝固点是 0°C 。当水的温度降至 0°C 以下时，水分子运动减弱，同时分子取得比较固定的彼此相对有序的位置，此时只要稍稍振动，水分子进入晶格排列，水就由液相变成固相。当固相水加热，使一些分子的振动动能变得很大，并足以克服分子在晶格中的吸引力时，固相就开始融解，逐渐变成液相，此时的融化热为 80cal/g ($1\text{cal} = 4.187\text{J}$)。随着温度升高，液相中的水分子运动速度加快，以至逸出水面，蒸发到空间中去。在标准大气压下，水的沸点是 100°C ，此时的蒸发热为 579.5cal/g 。水蒸气遇冷会凝结或凝华。

由此可知，不论固相水、液相水或气相水，水分子在不停地运动。由于其运动速度不同，可体现出水的三种相态的变化。其运动速度快慢不仅取决于获得能量大小，温度愈高能量愈大；同时还取决于压力大小。如果压力不是标准大气压，那么水的沸点就不是 100°C ，水的凝固点（或熔点）也不是 0°C （即使差别很小）。水的沸点随着压力增大而升高，但当压力增大时，水的熔点几乎保持不变。水的三种相态，彼此处于平衡状态的点，称为三相点，即三相态同时存在。此时的压力为 4.6mm 汞柱 (1mm 汞柱 = 0.133kPa)，温度为 0.01°C 。如果把水的压力降到三相点压力之下，水直接从固相变成气相，而不经过液相（见图 1-1）。

图中 OA 曲线是表示蒸汽压与温度的关系，称为水的蒸汽压曲线；OB 线是冰的蒸汽压曲线，冰也能蒸发，但随温度的降低，冰的蒸汽压下降得非常快（比水快）；OC 线表示压力

对凝固点的关系，这条线几乎与纵坐标平行，说明凝固点的变化很小，三条曲线构成了水的物态图或称三相图。从这些曲线和交点可以了解冰—水—蒸汽。冰—蒸汽和水—蒸汽共存的条件。OA 线上各点表示在各该



温度和压力下，水和蒸汽才能长久共存。OD 线上的各点表示在各该温度和压力下，冰和水可以长久共存。OA 线上各点表示在各该温度和压力下，冰、水、蒸汽三者可以长久共存。

大陆水的水面积与其流域面积相比是非常小的，其水量主要是由流域内降水汇集而成的。大陆水的形成一般要经过植物截留、土壤下渗、地面填洼、坡面漫流、河槽集流等径流形成过程。因此大陆水主要取决于气候因素（降水、蒸发），其次是地形、森林植被、土壤蓄水能力及流域面积等汇集条件。

(1) 海洋 海洋是地表水的主体。它具有广阔的水面可以直接接纳大量降水，又是绝大多数河流的终端。因此，它是水循环的源地，又是水循环的归宿。

(2) 河流 河流是大陆水最重要的组成部分。

(3) 湖泊 湖泊是大陆水体的开阔水域，是湖盆、水流及水中物质互为作用的综合体，除人工湖泊外，大多是自然界力量所造成的。

(4) 沼泽 沼泽不同于湖泊和盐碱湿地，是一种特殊的自然综合体，其基本特征是，地表经常过湿或有薄层积水。水流异常缓慢，能使植物滋生，土层严重潜育化或有泥炭的形成与积累。沼泽的水源有地表径流，地下水及大气降水，随其所在的地理环境不同而有主次之分。在干旱或半干旱地区，强烈蒸发限制了沼泽发展，靠地下水补给的比重大，水中矿物养分较丰富；而湿润地区则有多种水源补给，水量充足。在适宜的温度作用下，植物增长量越多，分解能力越弱，泥炭积累速度就越快。泥炭具有很强的持水能力，含水量也大，但其热容量大，导热性差，热量不易向下传导，沼泽表面温度容易增高，有利蒸发，加之沼泽植物繁茂，植物蒸腾强烈，于是蒸发、蒸腾就成为沼泽水分支出的主要方面。同时沼泽的冻结和解冻过程均较缓慢。

沼泽水域一般较浅，并多处于停滞状态，积水情况有三种，即常年积水，季节性积水和临时性积水。它像无形的蓄水库，影响河川径流过程，一方面产生的流量少，延长了汇流时间；另一方面削减洪峰流量。其影响程度与流域内沼泽率的大小、沼泽类型、分布位置及沼泽区地貌状况等有关。

3. 地下水

地下水系指存在于地面以下的各种状态的水分。它是以气体状态存在的水汽，充实于地层孔隙、吸附于土壤颗粒表面的吸着水；不在地层内直接显露，包围在土壤颗粒周围呈薄膜状态的薄膜水，受表面张力作用而移动；充满在地层毛细空隙中的毛细管水，其转动受毛细管作用所引起；居于地层内较大空间内的重力水，受重力作用向低处流动。这些地下水大部分是大气降水和地表水，并通过土壤、岩石的隙缝和溶洞等渗漏和聚集到地下一定深度而成的，也有小部分来自大气和地壳深部水汽凝结而成的。

四、水的分布和水的循环

1. 水的循环

自然界的水分不仅受地球引力作用沿着地壳倾斜方向流动，而且由于水在太阳热力作用下发生形态变化，蒸发的水分随着气流运行而转移，遇冷凝结成云或以降水形式到达地表，到达地表的水又重新蒸发、凝结、降落，这种过程循环不已，称为水分循环。仅在局部地区（陆地或海洋）完成的水分循环过程称为小循环。自海洋蒸发的部分水汽，随气流转移至陆地上空，并以降水形式到达地面后，经过江河、湖泊或渗入地下，再归入海洋，这种复杂的水分循环过程称为大循环（见图 1-2）。

影响水分循环的作用有三个基本因素：一是由水的物理性质决定了水的循环成为可能；二是太阳辐射，即水循环的源动力；三是循环路线的结构和性质，特别是地表循环途径的结

构和性质。如地质地貌、土壤和生物等的类型和性质，它不但影响降水的分布和输送，而且还影响下渗及输水水道的特性。这些因素相互作用决定了天然水分循环的方向和强度，造成了自然界错综复杂的水文现象，参加水分循环的水量称为水的动储量，即通常所说的“水资源”。

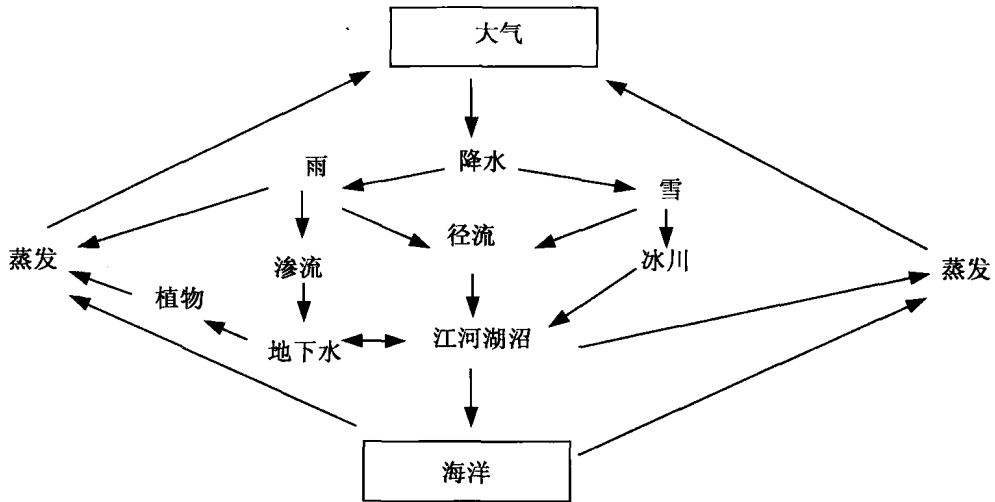


图 1-2 水在自然界的循环

2. 世界水量的分布及我国水资源

(1) 世界水量分布 地球表面约有 70% 以上被水所覆盖，所以地球素有“水的行星”之称，总水量约为 13.86 亿 km^3 (见表 1-1)，其中，海水占 96.5%，淡水为 0.35 亿 km^3 (见表 1-2)，占总水量的 2.53%。由于开发困难或技术经济的限制，到目前为止，海水深层地下水、冰雪固态淡水、盐湖水等很少被直接利用。比较容易开发利用的，对人类生活和生产关系密切的淡水储量为 400 多万 km^3 ，仅占淡水的 11%，占总水量的 0.3%。

表 1-1 自然环境中水量分布

水的类型	水量 (km^3)	比例 (%)
海水	1 338 000 000	96.5
地下水	10 346 500	1.71
冰雪水	24 064 100	1.74
湖泊水	176 400	0.013
沼泽水	11 470	0.0008
河水	2 120	0.0002
大气水	12 900	0.001
生物水	1 120	0.0001
总计	1 385 984 610	

由表 1-3 中可知, 全球蒸发量为 57.7 万 km³, 其中海面蒸发量占 87.5%, 其余则为陆地表面和水面蒸发及植物蒸腾。其中随着大气环流输送各地, 以降水形式到达陆地表面的有 11.9 万 km³。陆地降水所产生的径流 (4.7 万 km³) 进入海洋, 这就使海洋水量趋于相对平衡状态 (见表 1-3)。陆地降水有 60% 是来自大陆本身的各种蒸发水分, 40% 来自海洋蒸发水分, 因此一个地区的蒸发量对降水量的影响是很大的, 离海洋愈远影响愈大。海洋水汽向大陆输送过程中, 经凝结、降落, 再蒸发, 经过多次水循环向内陆推进, 愈向内陆水分愈少, 以至最后由于空中水气太少, 已不能形成雨雪, 这种水循环称为内陆水分循环。

表 1-2 全世界淡水储量

水的类型	水量 (km ³)	比例 (%)
地下水	10 346 500	30.96
冰雪水	24 064 100	68.70
湖泊水	176 400	0.260
沼泽水	11 470	0.033
河水	2 120	0.006
大气水	12 900	0.0037
生物水	1 120	0.0032
总计	35 029 210	

表 1-3 地球水量平衡估算 (年)

区域	面积 (10 ⁶ km ²)	水量平衡要素	水量 (km ³)
海洋	361	降水量	458 000
		入流量	47 000
		蒸发量	505 000
大陆 (外流区)	117	降水量	110 000
		径流量	47 000 *
		蒸发量	63 000
大陆 (内流区)	32	降水量	9 000
		蒸发量	9 000
全球	510	降水量	577 000
		蒸发量	577 000

* 包括南极和格陵兰的冰河径流量

向内陆输送的水汽对增加大陆水分, 增加内陆水分循环产生积极影响, 这些水分包括大气下层的水汽、土壤上层的水分、植物和生物体内水分、陆地水面和冰雪上层的水分子等统称为有效水。这部分水汽对该地区气候径流及植被等的形成有重要意义, 内陆河流或大河上游的水量大小多由内陆水分循环的强度决定。水分循环过程中成为径流回归海洋的这部分水分称为无效水。因它不再增加大陆水分, 仅对大河下游的水量产生影响。我国水分循环的途

径分为5个系统。即太平洋水分循环系统、鄂霍茨克海水分循环系统、南海水分循环系统、印度洋水分循环系统及内陆水分循环系统。这些水循环系统对我国的气候特征、径流分布和变化、生态环境等均有重大影响。水分在循环过程中不论途经大气层还是陆地，不仅以它的动力作用淋洗大气物质，冲刷地表物质，而且溶解可溶性物质，从而构成自然界各种化学循环系统。水分循环和化学循环尽管是两种不同的循环过程，但它们是相互影响、相互制约，有着密切联系的循环过程，它们对自然地理景观的形成、土壤盐分的溶滤及其积累有重要意义。

全世界径流总量为 $47\ 000\text{km}^3$ ，其中 $2\ 500\text{km}^3$ 为南极和格陵兰冰雪融水，河川径流量为 $44\ 500\text{km}^3$ ，除部分在内陆区消耗于蒸发外，约95%排入海洋，河川径流是人类用水的基本来源，它是地球上水分循环中较活跃的部分，世界河库蓄水量大约16天就可更换一次。因此，它有很强的净化能力，但全世界径流分布的差异很大，按人均径流量计算大洋洲最丰富，其径流量为全世界径流平均值的5倍，其次是南美洲、北美洲、欧洲、亚洲，而最低的是非洲，为世界平均径流量的 $1/7$ 。蒸发、降水、径流是水分循环的基本要素。人们往往通过对它采取各种措施来影响水文循环路线和强度，改善水文循环状况，以适应人类生产和生活的需要。如修筑水库、开挖运河可拦蓄水流，疏导积水，改变时间分配和区域分布，影响蒸发数值；植树造林改变空气湿润状况和地面蒸发条件，影响径流形成过程；修筑梯田，改变耕作方法促进水分下渗，增加土壤水量等。而这些措施势必也影响物质迁移和循环，除影响陆生生态外，也影响水生生态系统。

(2) 我国的水资源 我国水资源总量比较丰富，平均年降水量为 $6.19 \times 10^{12}\text{m}^3$ ，平均降水深648mm，平均河川径流量 $2.7 \times 10^{12}\text{m}^3$ ，合径流深284mm，约占全球径流总量的5.8%，居世界第6位。但我国人口众多，如按12亿人口计，人均占有年平均河川径流量 $2\ 260\text{m}^3$ ，不足世界平均值的 $1/4$ ，是美国人均占有量的 $1/6$ ，为前苏联的 $1/8$ ，巴西的 $1/19$ 和加拿大的 $1/58$ 。我国耕地平均占有的河川年径流量也只有世界平均水平的 $4/5$ 。所以，从人均、亩均水资源数据看，我国水资源的供需矛盾突出。时空分布不均匀是我国水资源的另一个问题。年降水量基本呈现由东南沿海向西北内陆递减的趋势。东南沿海径流深为1200mm，而西北干旱地区小于50mm，甚至几乎为0。南方人均河川径流可达 $3\ 600\text{m}^3$ ，北方地区人均仅 720m^3 ，仅及南方人均的 $1/5$ ，使我国北方农村和城市都严重缺水。保护有限的水资源不受污染，提高水资源的质量，减少水质型缺水现象的出现，是全国人民的长期任务。

第二节 水体的构成和影响因素

一、水体是复杂的水质体系

水体的含义绝不仅仅是单纯的水，而是指一个物质组成极其复杂的自然体系。水及其中溶存的物质构成的体系称水质系。天然水体在水的自然循环中形成，其中所含的成分与天然水形成的历史和水文地理环境条件有密切关系。天然水质系是一个复杂的多相体系，水中有溶解的物质，也有悬浮的较粗的颗粒物，更有大量的胶体颗粒物；有生物、也有非生物，还有因为人类生产与生活影响而进入水体的污染物。图1-3介绍了天然水的一般构成。

天然水质系的复杂性可以归纳为以下几点：①水中含有的物质种类繁多，含量相差悬

殊。从化学元素的种类看，已经在天然水中检出的有 80 种左右。如不考虑构成水的 H、O 元素，含量最多的是 Cl^- 和 Na^+ 。例如 Cl^- 在海水中的含量可达 $10 \sim 20\text{g/L}$ 。含量少的仅在 $10^{-9} \sim 10^{-12}\text{g/L}$ 的范围。同一种元素在水中存在的化学形态（化合态、价态、结构态等）也不同。比如氮在水中可以有 NH_4^+ 、 NH_3 、 NO_2^- 、 NO_3^- 、 N_2 、 N_2O 、氨基酸氮、蛋白质氮、腐殖质氮等形态。另外，同一种元素在不同的水体中的含量相差也可能很大，并且处在不断的变化中。有的有明显的日变化和年变化。②水中溶存物质的分散程度复杂。如以真溶液状态存在的各种分子、离子和离子对，其粒子一般小于 1nm ；有的粒子直径在 $1 \sim 1\,000\text{nm}$ 范围的胶体分散体，属高度分散的多相体系，粒子与水之间存在着界面，许多界面性质在这类分散系中表现很突出。黏土矿物胶体、有机碎屑胶体、有机高分子化合物等就属于这一类。此外还有直径大于 $1\,000\text{nm}$ 的粗分散态物质，这类粒子也有界面活性，但不如胶体突出，静置时易沉淀。较粗的泥沙颗粒、有机碎屑、浮游细菌与微藻等属此范畴。③存在各种生物。水中常见的有微生物、藻类、浮游动物、大型生物等，它们的生命活动不断影响着水中物质的存在形态和数量。

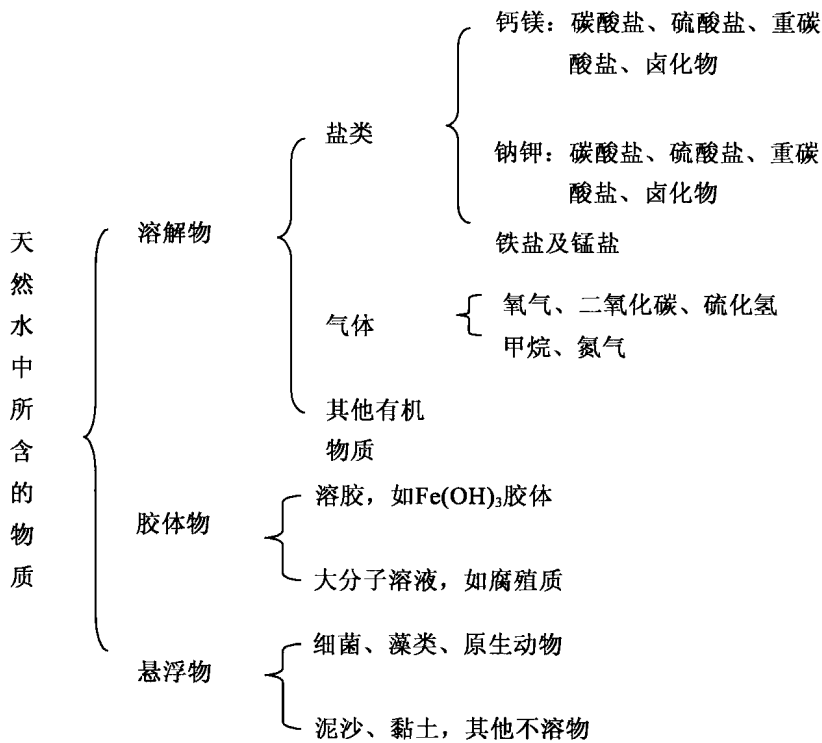


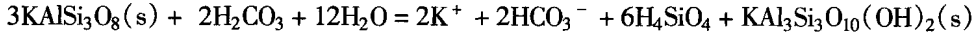
图 1-3 天然水体一般包含的物质

二、天然水中的化学成分受环境的影响

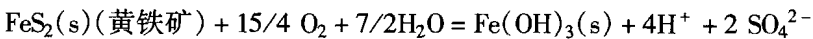
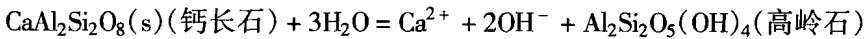
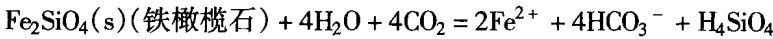
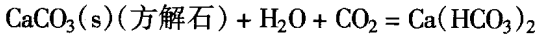
陆地天然水中的化学成分形成于自然界的地球化学循环中，其来源一般可归结为几个方面。

(1) 大气淋溶 水滴在高空漂移过程中不断自周围空气中溶解各种物质，雨滴的下落过

程能将大气颗粒物一并带下，这就形成了降水中的化学成分。大气中的物质除空气本身的固定成分以外，还有大气污染成分及地面进入大气的成分。风力可将地表物质带入空中。据研究，当海上风速为 6m/s（约 4 级风速）时，一昼夜内经过海岸线从海中携带出的盐分为 52t/km；若风速达到 10m/s（约 5 级风速）时为 185t/km。这些盐分有部分微细颗粒被带入空中漂浮。据计算，1L 雨水在下降过程中可以淋洗约 30 万 L 空气。可见，雨水中溶有许多从空气中溶解的物质。酸雨就是雨水溶解了空气中的酸性污染物形成的。



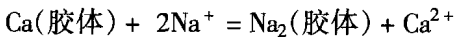
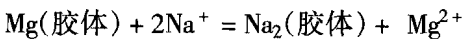
(2) 从岩石、土壤中淋溶 地面径流与地下径流在转移、汇集过程中充分与岩石、土壤接触，岩石、土壤中的可溶成分就转移到水中。各种岩石、矿物经化学风化后有不同的可溶成分形成。下面是部分化学风化的反应式，产物中有许多易溶或微溶成分：



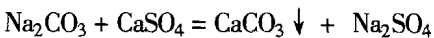
在沉积岩中还有许多可溶的，或在 CO_2 作用下可溶的成分，比如石膏 $\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$ 、 CaCO_3 、 MgCO_3 、有机物等。土壤中可溶于水中的成分更多。这些都是天然水中化学成分重要来源。

(3) 光合作用及水中生物的代谢的产物或尸体腐解产物 这些产物可向水体中提供 O_2 、 CO_2 、有机物及营养盐等物质。

(4) 次级反应与交换吸收作用 水与土壤接触，除了可以从土壤中溶带可溶性成分及胶体成分外，还可能有离子交换作用，使水的离子成分发生变化。例如，在 NaCl 含量高的水体中可以发生如下交换反应：



如果 Na^+ 的浓度不高，则可发生上述的逆向交换。在水体中还可能发生次级反应生成沉淀，或生成新的溶解成分和新的不溶物。例如：



(5) 工业废水、生活污水与农业废水 人类生产与生活产生的废水，大部分被直接或间接排入天然水体，使天然水体水质变得更加复杂多变。天然水中成分的这一来源正是环保工作者要尽力限制的。真正不直接受到人类活动影响的水体，恐怕只有荒芜人烟地区的湖泊及河流的源头。

第三节 水生生态体系

一、水体生态结构

水是鱼类和其他水产养殖生物赖以生存的物质基础。它们生长发育的每一个阶段，生命

活动的每一个方面，无一不与水质有关。水质对鱼类的影响极其复杂多样，它包括众多不同营养类型的生物共同参与完成的将无机物合成有机物，又将有机物分解还原成无机物的一系列物理化学过程。生物在这一活动中构成了复杂的食物网，以此推动能量流动和物质循环。这种复杂的食物网可以简单地概括为生产、消费、还原水体生态系统。即：水中要含有适量营养盐类，保障浮游植物和其他天然饵料生长繁殖，在为鱼类提供部分食物的同时，供给鱼类呼吸所需要的氧气，这一过程称为生产过程。鱼类摄取植物制造的有机物和氧气而生长的过程称为消费过程。鱼类在消费过程中排出有机代谢废物，经微生物分解转化为无机盐，既防止它们积累为害，又保证了水体中的物质循环，被称为还原过程。

一切天然水体都包含着生命有机体，其存在和延续，依赖于水中的无生命物质的循环和能量的流动，而生物的活动又在不断的改变周围水体的状态，换句话说，水生生物既是水体环境的产物，同时也是水体环境的改造者。水环境与水生物之间存在的相互依赖而又相互制约的密切关系称为生态。因此在水生生态系统中，生态系的结构毫不例外地包括两大组成部分：即非生物组成部分和生物组成部分。

1. 非生物组成部分

(1) 无机物 物质循环中涉及到的无机物质和无机化合物，C、H、O、N、P、S、CO₂、H₂O、O₂等。

(2) 有机物 联系生物和非生物的有机化合物（蛋白质、碳水化合物、脂类、腐殖质等）。

(3) 温度、光照、溶氧、盐度、pH等自然理化因子。

非生物环境因子主要从两方面影响鱼类，一方面直接影响鱼类的代谢活动，从而使鱼类的生长、发育、繁殖等基本生命机能受到影响；另一方面是通过影响水域的物质循环和鱼类饵料生物、敌害生物的消长而间接作用于鱼类。

2. 生物组成部分

(1) 生产者 指自养型绿色植物（包括藻类），能通过光合作用把简单的无机物制造成为复杂的有机物并将光能转化为生物能贮藏在体内。以湖泊生态系为例，浮游植物在所有水层中都存在，作为水域生态系的基本食物来源，比大型根生植物更为重要。

(2) 消费者 指异养型生物，以其他生物或颗粒有机物质（如有机碎屑、腐殖质等）为食的生物。在湖泊生态系中有浮游动物、底栖动物、昆虫幼虫、温和鱼类、凶猛鱼类等。根据这些动物在食物链中所处地位，又分：初级消费者，即草食动物，直接以植物为食；次级消费者，捕食初级消费者的肉食动物；三级消费者以次级消费者为食的肉食动物，依次类推。

(3) 分解者 是异养型生物，主要包括细菌和真菌，它们能把死亡的有机体中复杂的有机物重新分解为简单的化合物或无机物，再为绿色植物利用，从而构成新的循环。

二、水中生物的物质基础和能量来源

1. 能量流动

维持和延续生命是需要能量的。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，特别是浮游植物的作用，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

光能转为化学能的作用，是能量流动的起源，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”。一旦水体的能量流动受阻、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”。水中生物与环境两者构成一个相互依存的统一体，物质环境孕育了水中生物，反过来，水中生物又是水环境的积极改造者。生态生命的持续，除依赖能量流转，还依赖各种物质的循环。组成生物体的化学元素主要有十多种。其中，C、H、O、N、P、S这6种元素，共占原生质成分的97%。各级生物通过摄取营养物，从环境中获得这些物质，而为别的生物重复使用，最后经分解者分解复归于环境。

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。一般地说，物质循环总是与能量流动结合在一起进行的，其中以碳、氧、氮、磷、硫等的循环，对水质及养殖生产影响最大。图1-4是简化了的水体生态能量和物质循环模式。

三、水体中的生态平衡

生态体系通过生产者、消费者和分解者与非生物环境相联系，并使能量和物质得以周而复始的流动和循环，从而保持着生态系统的平衡。生态系的任一生物和非生物结构组成成分的变动，都会影响到其他成分或环节的变动，从而影响到维持生态平衡的基础，即物质和能量的流动。正常条件下，大部分水体达到了（或应该达到）生态平衡，各种生物群和谐地生活在一起。人类的活动强烈地干扰了水体的生态平衡，从养殖水体的角度，这种干扰体现在直接和间接的两个方面：为了获得高密度的养殖效果人为的对水体的改造而造成的直接影响；大工业革命以来，大量的生产和生活性的排放物涌入到大气、江河、海洋、土壤，通过自然界物质的循环间接地影响到养殖水体。生态平衡遭到破坏除少部分原因是养殖水体自身的问题，更多的原因是人类活动的结果。在养殖水体内，生态平衡的破坏主要体现在物理特征和生化特征方面。

(1) 物理特征

- ①水色。与通常的颜色发生明显的改变。
- ②气味。难闻，伴有恶臭。

(2) 生化特征

①水体内容解氧的严重不足。水体表面的氧是通过从大气中直接吸收以及光合作用供给的，消耗氧和形成二氧化碳的呼吸过程是所有好氧生物的基本过程。在池塘或河流底部的植物根部以及漂浮植物所发生的光合作用产生氧，消耗二氧化碳，而呼吸和降解过程则消耗氧，产生二氧化碳。如果系统的生态平衡，或者质能流动受到阻碍和破坏，会出现氧气的产出抵不上消耗，此时，呼吸作用的动物丧失活动的的能力。那么养殖对象的生产量必然受到严重的影响甚至停止生产。

②自净作用的减弱和富营养化。在自然条件下，水体一方面由于生物代谢废物等异物的浸入积累，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，使污染水恢复正常性能，后一过程称为水体的“自净作用”。