

内 容 简 介

本教材共分三部分，较系统地论述了天然水的化学成分及其动态规律、各主要水化因子的测定原理和测定方法、各主要水化因子与养殖生产的关系。主要包括天然水的基础知识、主要离子、溶解氧、二氧化碳体系及 pH、有机物、生物营养元素、各类天然水体概述、天然水体污染概况及以上各知识点的配套实验等。各章后有配套复习思考题。

本教材除作为全国中等农业职业学校水产养殖专业教材外，还可作为职业高中及从事水产工作的技术人员的参考书。



中等职业教育农业部规划教材
zhongdeng zhiye jiaoyu nongyebu guihua jiaocai

水 化 学

水产养殖专业用

孙晓红 主编

中国农业出版社

编

审

人

主 编

孙晓红 (大连水产学校)

员

副主编

鲁性贵 (湖北省科技生物学校)

参 编

和 民 (江西省畜牧水产学校)

李 莉 (四川省水产学校)

审 稿

臧维玲 (上海水产大学)

出版说明



为了贯彻《中共中央国务院关于深化教育改革全面推进素质教育的决定》精神，落实《面向 21 世纪教育振兴行动计划》中提出的职业教育课程改革和教材建设规划，根据教育部最新颁布的《中等职业学校专业目录》中水产养殖专业的主干课程及培养目标，中国农业出版社受农业部委托组织编写了适用于中等职业教育水产养殖专业使用的教材。此教材全面贯彻素质教育思想，从水产养殖发展对高素质劳动者和中初级专门人才需要的实际出发，注重对学生的创新精神和实践能力的培养；在理论体系、组织结构和阐述等方面均作了一些新的尝试。欢迎开设水产养殖专业的水产学校、农业中专、职业高中、技工学校、农业广播电视学校以及专业技术人员培训使用，并在使用中提出意见和建议，使之不断完善和提高。

中国农业出版社

2002 年 5 月

CHUBANSHUOMING



编写说明



本教材的编写是以教育部关于“培养与社会主义现代化建设要求相适应，德智体美等全面发展，具有综合职业能力，在生产、服务、技术和管理第一线工作的应用型专门人才和劳动者”的培养目标为宗旨，结合职业教育的特点，在内容上以“实用、够用”为前提，将淡水化学和海水化学有机地联系起来，系统介绍了天然水的理化性质、基本特征、生物效应、环境污染及水质管理知识。使学生能在学习中获得比较全面的基础理论，掌握实用的基本技能。

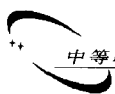
本教材以有关专业教学计划、本课程教学大纲、国家现行规范及标准为依据，参考目前各学校正在使用的相关教材，广泛征求使用者的意见编写而成。内容上力求反映“水化学”的科学性及其在养殖生产中的重要性和作用，条理清晰、深入浅出、通俗易懂、精炼实用。全书安排学时数为 75~85，其中实验学时数为 35~40，各校可根据实际情况灵活选用。

2001 年底编者接受编写任务后，于次年初北京教材编写会上讨论、修改、制定了教学大纲和编写提纲，并进行了写作分工。3 月上旬主编对全书的初稿进行了初审和统稿，并在月末的四川成都统稿会上进行讨论、修改、定稿。由上海水产大学臧维玲教授审稿。

本教材由大连水产学校孙晓红老师任主编，分工编写：编写说明、第 1 章、第 2 章、第 8 章（五、六节）及实验一、实验二、实验三、实验四、实验五、实验九、实验十、实验十一、实验十二、实验十三、实验十六和全书的统稿；湖北省科技生物学校鲁性贵老师任副主编，编写：第 5 章、第 6 章、第 7 章及实验八、实验十四；江西省畜牧水产学校和民老师编写：第 3 章、第 8 章（一、二、三、四节）、第 9 章及实验三、实验四、实验五、实验六、实验十五；四川省水产学校李莉老师编写：第 4 章、第 10 章及实验七。

本教材是由中国农业出版社教材出版中心组织编写的中等职业教育农业

BIANXIESHUOMING



部规划教材，适用于中等职业学校、中等技术学校、职业高级中学等学校的水产养殖专业、水生生物专业水化学课程的教学用书，也可作为水产养殖人员的技术参考书。

本教材在编写过程中得到了各校领导及老师的支持和帮助，在此表示衷心感谢。

由于编者学知水平有限，编写任务重，时间紧迫，书中难免有缺点、错误和疏漏，恳请师生指正。

编 者

2002年4月

目 录

出版说明

编写说明

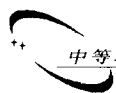
第一篇 水化学

第 1 章 绪 论 2

第一节 天然水体	2
一、天然水体及其分类	2
二、天然水中水的循环及物质组成	4
三、天然水的水质及水质指标	5
第二节 水化学与水生生物的关系	8
一、水化学及其任务和要求	8
二、水化学与水生生物的关系	9
复习思考题	11

第 2 章 天然水的主要理化性质 12

第一节 水的异常特性	12
一、水的熔点和沸点较高	12
二、水的比热最大	12
三、水的溶解及反应能力极强	13
四、水的表面张力最大	13
五、水的体积胀、缩异常	13
第二节 天然水的主要理化性质	13
一、天然水的总含盐量及其表示方法	14
二、天然水的光学性质	17



三、天然水的依数性·····	18
四、天然水的电导率·····	21
五、天然水的密度·····	22
复习思考题·····	26

第3章 天然水的主要离子 28

第一节 天然水中的主要阳离子·····	29
一、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 及硬度·····	29
二、 Na^+ 、 K^+ ·····	31
第二节 天然水中的主要阴离子·····	31
一、 HCO_3^- 、 CO_3^{2-} 及碱度·····	31
二、 Cl^- 、 SO_4^{2-} ·····	34
第三节 天然水的分类·····	37
一、天然水按总含盐量分类·····	38
二、阿列金分类法·····	38
复习思考题·····	40

第4章 天然水中的溶解氧 41

第一节 氧气在水中的溶解度及饱和度·····	41
一、氧气在水中的溶解度·····	41
二、氧气在水中的饱和度·····	43
第二节 天然水中溶解氧的来源与消耗·····	44
一、天然水中溶解氧的来源·····	44
二、天然水中溶解氧的消耗·····	45
第三节 天然水中溶解氧的分布与变化规律·····	46
一、溶解氧的日变化及日较差·····	46
二、溶解氧的垂直分布和水平分布规律·····	48
第四节 天然水中溶解氧与养殖生产的关系 及管理措施·····	50
一、溶解氧与养殖生产的关系·····	50
二、溶解氧的管理措施·····	51
三、北方地区冬季溶解氧的分布、变化规律 及管理方法·····	53
复习思考题·····	54



第 5 章 天然水中的二氧化碳体系 55

第一节 天然水中的二氧化碳平衡体系	55
一、二氧化碳平衡体系	55
二、二氧化碳分量与 pH 的关系	56
第二节 天然水的 pH	57
一、天然水的 pH 范围	58
二、天然水的缓冲作用	59
三、影响天然水 pH 变化的因素	61
四、天然水体的 pH 与养殖的关系	63
复习思考题	65

第 6 章 天然水中生物营养元素 66

第一节 营养元素及限制法则	66
一、营养元素及其种类	66
二、限制法则	67
第二节 天然水中的主要营养元素	69
一、天然水中的氮	69
二、天然水中的磷	73
三、天然水中的硅	76
第三节 微量营养元素	78
一、微量营养元素与富集因数	78
二、铁	79
三、其他微量营养元素	79
第四节 施肥	80
一、氮的肥效及毒性	80
二、营养元素的比例	81
三、有机肥料的作用	81
四、施磷肥	81
复习思考题	83

第 7 章 天然水中的有机物 84

第一节 天然水中有机物的分类、组成和来源	84
一、有机物的分类	84
二、有机物的组成	84

三、有机物的来源·····	86
四、表示有机物总量的常用指标·····	86
第二节 天然水中有机物的变化·····	87
一、气提及浮选作用·····	87
二、絮凝作用·····	88
三、配合作用·····	90
四、降解矿化作用·····	90
第三节 天然水中有机物与养殖的关系·····	93
一、有机物在养殖生产中的积极意义·····	94
二、有机负荷过大的消极作用及对策·····	94
复习思考题·····	95

第 8 章 各类天然水体概述 96

第一节 大气降水·····	96
一、大气降水的化学成分·····	96
二、酸雨·····	97
第二节 河水与湖（水库）水·····	98
一、河水·····	98
二、湖泊与水库水·····	100
第三节 地下水·····	102
一、地下水的来源与分类·····	102
二、地下水的化学特征·····	103
第四节 池塘水·····	104
一、溶解气体·····	104
二、主要离子·····	105
三、营养盐类与有机物·····	105
第五节 海水·····	106
一、海水水质的一般特点·····	106
二、我国海区的水化学特征·····	109
第六节 人工海水·····	111
复习思考题·····	115

第 9 章 天然水污染概况 116

第一节 概述·····	116
一、水体的污染·····	116
二、水体的自净作用·····	116



三、水体的污染物	117
四、水体的污染源	118
第二节 水体中重要的污染物	119
一、有机物及营养盐的污染物	119
二、重金属污染	120
三、农药污染	121
四、石油污染	122
五、放射性污染	123
六、热污染	124
第三节 污染物质对水生生物的毒性作用	125
一、基本概念	125
二、影响污染物毒性的因素	126
第四节 污染治理	127
一、水污染防治措施	127
二、废水处理方法	127
复习思考题	131

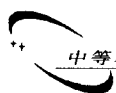
第二篇 水质化学分析

第 10 章 水质分析基础知识 134

第一节 水质分析概述	134
一、水质分析的任务和作用	134
二、水质分析项目、测点、测次的确定	134
第二节 水样采集与保存	137
一、水样的采集	137
二、水样的保存	141
复习思考题	143

第 11 章 水化学分析实验 144

实验一 氯化物的测定	144
实验二 盐度的测定	146
一、密度计法	146
二、盐度计法	152
实验三 总硬度的测定	157
实验四 钙、镁的测定	159



实验五 碱度的测定	160
实验六 硫酸盐的测定	164
实验七 溶解氧的测定	165
实验八 pH 的测定	168
实验九 亚硝酸盐氮的测定	172
实验十 硝酸盐氮的测定	174
一、锌镉还原法	174
二、镉柱还原法	177
实验十一 铵氮的测定	181
一、次溴酸钠氧化法	181
二、奈氏 (Nessler) 比色法	184
实验十二 磷酸盐的测定	186
一、磷钼蓝法 (淡水)	186
二、磷钼蓝法 (海水)	188
实验十三 铁的测定	190
实验十四 化学需氧量的测定	192
一、碱性高锰酸钾法	192
二、酸性高锰酸钾法	195
实验十五 硫化氢的测定	196
实验十六 硅酸盐的测定	198
一、硅钼黄法	198
二、硅钼蓝法	200

附 录 204

附录 1 常用元素国际原子量表 (1975)	204
附录 2 常用化合物摩尔质量表	205
附录 3 常用市售酸的物质的量浓度及配制表	206
附录 4 海水水质标准 (GB 3097 - 1997)	207
附录 5 渔业水质标准 (GB 11607 - 89)	209
附录 6 地表水环境质量标准 (GHZBI - 1999)	210
附录 7 江河湖泊水库水化学成分	212
附录 8 在不同温度盐度下海水中溶解氧饱和度 (ml/L) ...	214
附录 9 溶度积常数 (25 ℃)	215
附录 10 使每公顷池塘水的总硬度和总碱度增加至 20 mg/L 时 CaCO_3 的需要量 (kg)	216
主要参考文献	217

第一篇

水 化 学

绪 论

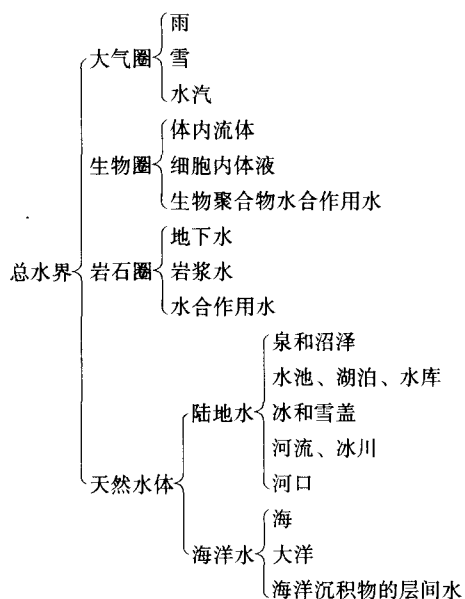
第一节 天然水体

一、天然水体及其分类

(一) 天然水体

水是地球表面上分布最广的自然资源，也是地球上一切生物赖以生存的重要物质。地球约 3/4 的面积被水覆盖，总水量约有 $1.36 \times 10^9 \text{ km}^3$ ，天然水体是地球上总水界的重要组成部分。总水界的主要构成见表 1-1。

表 1-1 总水界的主要构成





从总水界的主要构成看到,天然水体是河流、湖泊、沼泽、水库、池塘、地下水、海洋等的总称,是水及包括水中悬浮物、溶解性物质、水生生物、底泥等在内的一个完整的自然综合体。水体内部各类物质的变化与它们在水、底泥及水生生物之间的分布和转化有关。

(二) 天然水体的分类

天然水体可按类型或区域划分。按类型可分为海洋水体和陆地水体。陆地水体又可分为地表水体(河流、湖泊、池塘等)和地下水(泉水、井水、潜水等)。按区域可将某一具体的被水覆盖的地段划为一水体。如太湖、洞庭湖、鄱阳湖是三个区域的不同水体(按陆地水类型划分它们皆属湖泊);又如长江、黄河、珠江则分属三个流域的三条水系(同属于陆地水体中的地表水体——河流);再如太平洋、大西洋、印度洋是分布在地球上不同位置的三个海区(皆属海洋水体)。

不同类型的天然水体在地球上的分布是很不均匀的。海洋约占地球总面积的 70.8%,其体积约占总水体积的 97% 以上;陆地水仅占总水体积的 2.8%,其中 3/4 以固体形态存在于冰盖和冰川中。地球上水量的分布见表 1-2。

表 1-2 地球上水的分布

(汤鸿霄, 1979)

水 体 类 别	体 积 (km^3)	占总水量百分比 (%)
海洋	1.32×10^9	97.2
河流	1.25×10^3	0.000 1
淡水湖泊	1.25×10^5	0.009
咸湖与内海	1.04×10^5	0.008
土壤水	6.7×10^4	0.005
浅层地下水	4.17×10^6	0.31
深层地下水	4.17×10^6	0.31
冰盖与冰川	2.92×10^7	2.15
大气水	1.2×10^4	0.001
生物体内水	6.0×10^3	0.000 5
总 量	1.36×10^9	100

我国陆地水资源总量约 2.7 万亿 m^3 ,其中地表径流量约 2.6 万亿 m^3 ,约占全球陆地径流量的 5.5%。地表径流在地区上的分布很不均匀,从表 1-3 可以看出,我国东部、南部地区水资源丰富,而西部、北部地区水资源较缺乏。我国的海水资源丰富,海域辽阔,北起渤海的辽东湾,南到曾母暗沙群岛附近,跨越了 37 个纬度,拥有 18 000 多千米曲折漫长的海岸线,我国近海划分为黄海、东海、南海、渤海四大海域。

表 1-3 全国各片水资源总量分布表

(水体污染与防治编写组, 水体污染与防治, 1984)

分片名称	水资源总量 (m^3)	分片名称	水资源总量 (m^3)
黑龙江流域片	1.389×10^{11}	珠江流域片	4.739×10^{11}
辽河流域片	5.81×10^{10}	浙闽台诸河片	2.714×10^{11}
海、滦河流域片	4.06×10^{10}	西南诸河片	4.684×10^{11}
黄河流域片	7.62×10^{10}	内陆诸河片	1.207×10^{11}
长江流域片	1.024×10^{11}	全 国	$2.710 6 \times 10^{12}$
淮河流域片	9.600×10^{11}		

二、天然水中水的循环及物质组成

(一) 天然水的水循环

地球上各部分的水都处在不停的运动状态。地表上的水受太阳辐射蒸发到空中，遇冷后又凝结成雨、雪、冰雹等形式降落到海洋和陆地。陆地上的降水分成两路流动，一路在地面上汇成江河、湖泊，称地面径流；另一路渗入地下形成水层或水流，称地下渗流。这两路水流有时相互交流转化，最后都流入海洋。同时，地表水又经蒸发、凝结、降落……上述过程往复循环，永无终止，称自然界的水循环。通过循环保持着地球上水量的平衡（图 1-1）。

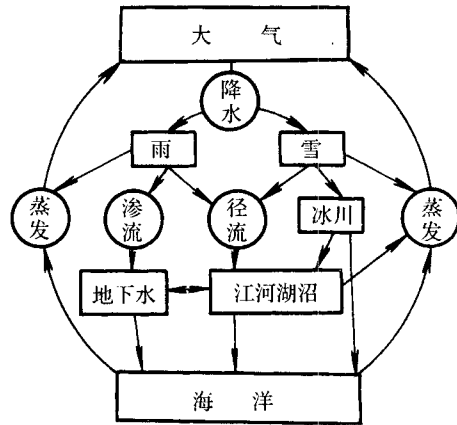


图 1-1 水的自然循环

(二) 天然水的物质组成

天然水是物质组成极为复杂的溶液。按物质存在形态的不同，可分为悬浮物质、胶体物质和溶解性物质，而且各类不同形态的组分十分复杂（表 1-4）。

表 1-4 天然水中所含物质

天然水中所含物质	悬浮物质	细菌
		藻类及原生动物
	胶体物质	泥沙、黏土
		其他不溶物
	溶解物质	溶胶，如硅酸胶体
		高分子化合物，如腐殖质
	盐类	钙、镁酸式碳酸盐
		钙、镁硫酸盐
	气体	钙、镁氯化物
		钠、钾酸式碳酸盐
	其他有机物	钠、钾碳酸盐
		钠、钾硫酸盐
	其他有机物	钠、钾氯化物以及氟化物
		铁盐及锰盐
	其他有机物	氮气
		氧气
	其他有机物	二氧化碳
		硫化氢
	其他有机物	甲烷
		其他有机物

О.А.Алекин (1970) 把天然水中的溶解性成分，概略地分为 5 组：



1. **溶解性气体** 含量较多的有 O_2 、 N_2 和 CO_2 ，含量较少或者在某些特殊条件下出现的气体有 H_2S 、 CH_4 、 NH_3 和 He 等。

2. **主要离子** Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 HCO_3^- 、 CO_3^{2-} 、 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 等。

3. **生原物质** 指在成因上与生命活动有关的物质，主要是含氮的化合物 (NH_4^+ 、 NO_3^- 、 NO_2^-)、含磷化合物 (HPO_4^{2-} 、 $H_2PO_4^-$ 、 PO_4^{3-})、铁的化合物及含硅的化合物等。

4. **微量元素** 指在天然水中含量低于 $1 \mu g/kg$ 的阴离子 (如 I^- 、 Br^- 、 F^- 、 $H_2BO_3^-$)、微量金属离子及放射性元素等。

5. **各类有机化合物**

三、天然水的水质及水质指标

(一) 水质

水是一种良好的溶剂。水在其自然循环和社会循环 (人类在生产、生活活动中取用部分天然水并排出生活污水、工业废水等，并返回天然水体) 过程中，溶解了与它接触的一切可溶性物质，因此各类天然水都是不纯净的水，均含有各种物理的、化学的以及生物的成分。各种成分的组成和含量是不同的，从而导致水的感官性状 (色、嗅、味、混浊等)、物理化学性质 (温度、电导率、氧化-还原电位、放射性等)、化学成分 (各类无机物及有机物)、微型生物组成 (种类、数量和形态) 的状况各不相同。通常将这些性质的综合称为水质。简言之，水质是指水及其中所存在的各类物质所共同表现出来的综合特性。

天然水体的水质受到种种因素的制约，这些因素来自于自然的 (如水文、气候、地质条件的变化) 和人为的 (如人类的活动) 两方面。如果由于这两方面的因素将污染物质引入水体，导致水质恶化，影响了水体的使用价值，称这种现象为水体污染。一般说来，对水质造成恶化的原因主要是人为污染，而自然因素给水体带来的物质含量，通常构成水质的所谓自然背景值 (本底值)。

(二) 水质指标

水质指标是用以评价水环境特性的重要参数。可以根据这些参数对水质的类型进行分类，对水体质量进行判断和综合评价。

水质指标表示的是水中某一种或一类物质的含量，其含量常直接用浓度表示。有些水质指标则是利用某一类物质的共同特性来间接反映其含量的。例如，水中有机物质具有易被氧化的共同特性，可用需氧量作为有机物含量的综合性指标。还有一些水质指标是同测定方法直接联系的，例如混浊度、色度等都是用人为规定的，以配制某种标准溶液作为衡量的尺度。

水质指标按其性质的不同，可分为物理指标、化学指标和生物指标。关于生物的各项指标已在有关课程中给予了介绍。本节只概要介绍几项常用的水质物理指标的含义和按测定的不同方法给予分类的化学指标的含义。

1. **水质的物理指标** 水质的物理指标项目很多，包括水温、渗透压、混浊度 (透明度)、色度、悬浮固体、蒸发残渣以及其他感官指标如嗅觉、味觉属性等。

(1) 温度。温度是最常用的物理指标之一。由于水的许多物理特性、水中进行的化学