

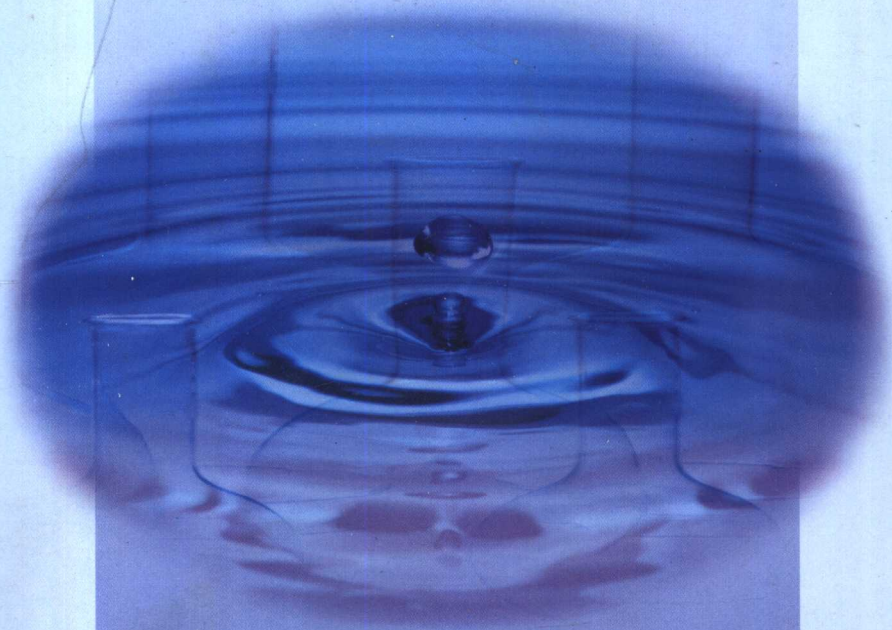


全国高等农业院校教材
全国高等农业院校教学指导委员会审定

养殖水环境化学

水产养殖专业用

雷衍之 主编



中国农业出版社

全国高等农业院校教材
全国高等农业院校教学指导委员会审定

养殖水环境化学

雷衍之 主编

水产养殖专业用

中国农业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

养殖水环境化学 / 雷衍之主编. —北京: 中国农业出版社, 2004.1

全国高等农业院校教材

ISBN 7-109-08581-3

I. 养... II. 雷... III. 水产养殖-水化学-高等学校-教材 IV. S912

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 113790 号

中国农业出版社出版

(北京市朝阳区农展馆北路 2 号)

(邮政编码 100026)

出版人: 傅玉祥

责任编辑 曾丹霞

中国农业出版社印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行

2004 年 1 月第 1 版 2004 年 1 月北京第 1 次印刷

开本: 787mm×960mm 1/16 印张: 24

字数: 428 千字

定价: 31.30 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

主 编 雷衍之(大连水产学院)

副主编 臧维玲(上海水产大学)

刘长发(大连水产学院)

参 编(按姓氏笔画排序)

王 芳(中国海洋大学)

申玉春(湛江海洋大学)

江 敏(上海水产大学)

魏世强(西南~~农业~~大学)

前 言

本书是全国高等农业院校“十五”规划教材。编者认为教材编写应贯彻“起点高、目标清、内容新、形式活”的原则,体现水产养殖业可持续发展与环境保护的意识,反映养殖水环境化学的发展动态。在突出学科实践性、应用性特点的同时,要适当增加水环境化学理论知识,以适应增强素质教育和创新教育的新形势。鉴于各校对本课程教学要求不同,特别是教学课时差异较大,本书的编写大纲基本参照理论教学为60~70学时的教学大纲制订,用大小两种字体排印。大字体为比较基本的内容,供教学课时较少的学校选用;小字体的内容则有所扩展和加深,可供教学课时较多的学校参考;小字体中标有“*”号的内容可供感兴趣的学生自学阅读。

本书除了可作为高等学校水产养殖专业的教材外,还可供水产养殖、环境保护等专业人员学习参考。

本书的编写分工如下:雷衍之教授编写绪论及第一、二、四、十二章;臧维玲教授编写第六、十三章;刘长发教授编写第八、十章;魏世强教授编写第九、十四章;王芳副教授编写第五章;江敏副教授编写第七章;申玉春副教授编写第十一章。另外,第三章由申玉春和雷衍之共同完成。

中国科学院水生生物研究所博士生导师徐小清教授、华中农业大学渔业学院王明学教授在百忙之中对书稿进行了认真、仔细的审阅,提出了许多宝贵的修改意见,在此向两位教授表示由衷的感谢。

在书稿编撰过程中,得到了各参编学校领导的大力支持。在统稿过程中,大连水产学院蒋礼老师和研究生晏再生、魏海峰协助做了大量的校勘、编辑、绘图工作。上海水产大学彭自然老师绘制了第六章和第十三章的插图。大连水产学院金送笛教授、杨凤副教授对编写工作提供了大力帮助。对领导和同志们的关心、支持和帮助在此表示衷心的感谢。

本书的编撰过程中虽经多次修改,但是由于编者的水平所限,缺点错误在所难免,请广大读者批评指正。

编 者

2003年10月

目 录

前言	
绪论	1
一、我们生活的环境	2
二、环境化学与养殖水环境化学	9
习题与思考题	13
参考文献	14
第一章 天然水的主要理化性质	15
第一节 天然水的盐度、密度和化学分类	15
一、天然水的含盐量	15
二、天然水的密度	20
三、天然水的化学分类法	22
第二节 天然水的依数性和透光性	24
一、天然水的依数性	24
二、天然水的透光性	26
• 第三节 天然水的离子强度、活度和导电性	29
• 一、天然水的离子强度和离子的活度	29
• 二、天然水的导电性	32
第四节 水的流转混合作用与水体的温度分布	35
一、水的流转混合作用	35
二、水体的温度分布	36
习题与思考题	40
参考文献	41
第二章 天然水的主要离子	42
第一节 水的硬度及钙镁离子	42

一、水硬度的概念及表示单位	42
二、天然水的硬度与 Ca^{2+} 、 Mg^{2+}	43
第二节 水的碱度、碳酸氢根、碳酸根离子	49
一、碱度的组成及表示单位	49
二、碱度的变化及意义	51
第三节 硫酸根离子、氯离子、钠离子、钾离子	55
一、硫酸根离子与硫在水中的循环	55
二、氯离子	57
三、钠离子与钾离子	58
第四节 海水主要离子组成的恒定性	59
习题与思考题	60
参考文献	61
第三章 溶解气体	63
第一节 气体在水中的溶解度和溶解速率	63
一、气体在水中的溶解度	63
二、气体溶解平衡的有关计算	67
三、气体在水中的溶解和逸出速率	71
第二节 水中氧气的来源与消耗	73
一、水中氧气的来源	73
二、水中氧气的消耗	76
第三节 溶氧的分布和变化	77
一、溶氧的变化	78
二、溶氧的垂直分布和水平分布	80
第四节 溶氧在水域生态系统中的作用	82
一、溶氧动态对鱼的影响	82
二、溶氧动态对水质化学成分的影响	83
三、改善养殖水体溶氧状况的方法	83
• 第五节 气体的溶解逸出与气泡病的关系	84
• 一、水中溶解气体过饱和和产生的原因	84
• 二、气泡病发生的条件及影响因素	85
习题与思考题	87
参考文献	88

第四章 天然水的 pH 和酸碱平衡	90
第一节 天然水的 pH	90
一、天然水中常见的弱碱、弱酸	90
二、天然水的 pH 及缓冲性	93
第二节 二氧化碳平衡系统	96
一、溶解二氧化碳的电离平衡	96
二、开放体系的二氧化碳平衡	102
三、pH 的调整	104
• 四、缓冲容量*	107
第三节 水中硫化氢和硼酸的电离平衡	109
一、硫化氢的电离平衡	109
二、海水中硼酸盐的电离平衡	110
习题与思考题	111
参考文献	112
第五章 天然水中的生物营养元素	113
第一节 营养盐与藻类的关系	113
一、必需元素和非必需元素	113
二、藻类对营养盐的吸收	114
第二节 天然水中的氮	116
一、天然水中氮元素的存在形态	116
二、天然水中氮的来源和转化	118
三、天然水体中无机态氮与养殖生物的关系	122
四、天然水中无机氮的分布变化	124
第三节 天然水中的磷	126
一、天然水中磷的存在形态	126
二、天然水中活性磷酸盐的分布变化及其影响因素	128
第四节 天然水中的硅和微量营养元素	133
一、天然水中的含硅化合物	133
二、铁	135
三、其他微量元素	136
习题与思考题	138
参考文献	139

第六章 水环境中的氧化还原反应	142
第一节 氧化还原电位和 pH 对物质形态的影响	142
一、环境中的氧化还原物质	142
二、电子活度与氧化还原电位	143
三、不同氧化还原水环境中元素的存在形态	149
• 第二节 E_H-pH 图(pe-pH 图)	152
• 一、 E_H -pH 图(pe-pH 图)的结构	152
• 二、pe-pH 图的绘制	154
习题与思考题	158
参考文献	159
第七章 水环境中的胶体与界面作用	161
第一节 胶体	161
一、胶体的基本知识	162
二、水环境中的胶体	166
• 第二节 吸附	170
• 一、吸附等温线与吸附等温式	170
• 二、吸附机理*	174
三、吸附作用对污染物环境行为的影响	176
第三节 凝聚作用	184
一、概述	184
二、影响凝聚作用的因素	186
三、凝聚作用与水生生物	187
习题与思考题	189
参考文献	190
第八章 污染物的毒性与毒性试验	191
第一节 毒性作用与毒性试验	191
一、毒性作用的一些基本概念	191
二、毒性试验	195
第二节 急性毒性试验	201
一、急性毒性试验的目的	201
二、半致死浓度的求算	201

• 第三节 亚急性和慢性毒性试验	203
• 一、亚急性毒性试验	204
• 二、蓄积毒性试验	204
• 三、慢性毒性试验	206
第四节 联合毒性作用试验	207
一、联合毒性作用	207
• 二、联合毒性作用类型的试验评定	210
习题与思考题	212
参考文献	213
第九章 水中的有机物	215
第一节 概述	216
一、天然水中有机物的种类和含量	216
二、反映有机物含量的水质参数	219
第二节 天然水中的耗氧有机物	222
一、耗氧有机物的种类及来源	222
二、耗氧有机物的变化	225
三、水中的腐殖质	229
第三节 水中的持久性有机污染物	235
一、持久性有机污染物种类、来源和危害	235
二、水中持久性有机污染物的生物富集	239
• 三、持久性有机物在水/气两相间的平衡*	243
• 四、持久性有机物从水中的逸散*	246
习题与思考题	248
参考文献	249
第十章 水中的重金属	250
第一节 天然水中重金属的来源及毒性	250
一、水中主要重金属污染物的来源	250
二、重金属元素在水环境中的污染特征	251
三、水中重金属的存在形态及其影响因素	252
四、水中重金属的毒性及其影响因素	255
• 第二节 水环境中重金属的迁移与分布	260
• 一、元素在环境中的迁移及其基本类型	260

• 二、影响重金属迁移的因素	260
• 第三节 沉积物中的重金属	263
• 一、沉积物中金属的形态	263
• 二、沉积物中金属向水中的释放	264
• 三、沉积物中金属的生物有效性*	265
习题与思考题	266
参考文献	267
第十一章 水环境中的配位解离平衡	268
第一节 水环境中常见配合物及其特性	268
一、水环境中常见配位体	268
二、配合物的稳定性	271
• 三、配合物在水体中的形态分布	274
• 四、混合配位体配合物*	278
第二节 配位体对金属离子的配合反应	279
• 一、OH ⁻ 对金属离子的配合反应	279
• 二、Cl ⁻ 对金属的配合反应	281
• 三、有机配位体对金属离子的配合反应	282
• 四、EDTA对重金属离子的配合反应及其在水产养殖中的应用	284
习题与思考题	286
参考文献	286
• 第十二章 水环境中的溶解与沉淀	288
第一节 天然水中各类固体的溶解平衡	288
• 一、常见固体的溶解性	288
• 二、天然水中碳酸钙的溶解和沉淀	292
第二节 碳酸盐和氢氧化物共存时的分级沉淀	297
• 习题与思考题	299
• 参考文献	300
第十三章 几种主要类型天然水的水质	301
第一节 大气降水	301
一、大气降水的化学成分与特点	301
二、酸雨	303

第二节 河水	305
一、河流水质的一般特点	305
• 二、我国河流水质的区域性分布特点	306
第三节 湖泊水与水库水	307
一、湖泊的类型	307
二、湖泊、水库水质特点	308
• 三、我国湖泊的基本特征	310
第四节 地下水	311
一、地下水的分类	311
二、地下水的水质特点	312
三、含盐地下水在水产养殖中的应用	315
第五节 海水	316
一、海水水质的一般特点	316
• 二、我国各海区的水质	322
习题与思考题	329
参考文献	330
第十四章 水质标准与水质评价	333
第一节 水质标准	333
一、基本概念	333
二、制订水质标准的一般方法	336
三、地表水环境质量标准(GB 3838—2002)	338
四、渔业水质标准(GB 11607—89)	341
五、海水水质标准(GB 3097—1997)	343
• 第二节 水质评价	344
• 一、水质评价的目的、种类	344
• 二、水质评价的一般程序	344
• 三、水质现状评价	346
习题与思考题	354
参考文献	354
附录	356
附录 1 某些元素在水中的溶存形式	356
附录 2 地表水环境质量标准(GB 3838—2002)的标准限值	357

附录 3	海水水质标准	360
附录 4	渔业水质标准	362
附录 5	部分天然水体的水化学成分	363
附录 6	我国环境优先污染物名单	367
附录 7	纯水和海水中 CO_2 的溶解度系数	367
附录 8	不同温度和盐度时水中溶解氧的饱和值	368
附录 9	化学元素相对原子质量表(部分)	369
附录 10	海水密度盐度查对表	370

绪 论

教学一般要求

掌握：天然水质系的组成、来源、特点。干燥空气的基本组成及大气平均温度与平均压力随海拔高度变化的规律。

初步掌握：地球各圈层的基本知识，了解地球水圈资源的分布和我国水资源状况。

了解：环境化学的任务和各圈层环境化学的概念。《养殖水环境化学》课程的任务和教学内容。

增强学生保护环境的意识。

随着世界人口的不断增加，工业生产的迅速发展，以及长期以来对污染物排放的不重视，使大量污染物进入了环境介质。这些污染物进入环境以后，可使环境质量与结构发生变化，轻则降低区域性环境质量，如造成酸雨、土地的荒漠化等，对人类和生物产生危害；重则引起全球环境质量的降低，如引起大气臭氧层的破坏、世界气候的变暖等。

环境问题已日益受到世界公众的重视。1972年联合国在瑞典首都斯德哥尔摩召开了人类环境会议，发表了人类环境宣言。宣言明确指出，环境问题不仅表现在水、气、土壤等的污染已达到危险的程度，而且表现在对生态的破坏和导致资源的枯竭。同时指出，部分环境问题是由贫穷造成的，明确指出发展中国家在发展中要同时解决环境问题。

到20世纪80年代，联合国世界环境与发展委员会，组织来自21个国家的著名专家学者到各国实地考察，于1987年发表主题为“我们共同的未来”的长篇报告，列举了大量令人震惊的环境事件。指出地球正在发生着急剧的变化，威胁着人类和许多物种。报告提出了可持续发展的战略，强调世界各国政府和人民要对经济发展和环境保护两大任务负起历史责任，并把两者结合起来。

随着人口的增加和经济的发展，我国的环境也受到了不同程度的损害。有些地

区出现荒漠化,有的水域受到严重污染,环境质量下降,水产资源减少甚至枯竭。

近 20 年来,我国的环境保护和环境治理工作日益受到政府和国民的重视,国民的环境意识不断增强。我国已把环境保护确立为一项长期坚持的基本国策,确立了环境与经济社会协调和可持续发展的战略;制定了环境建设、经济建设、城乡建设“三同步”(同步规划、同步实施、同步发展),实现环境效益、经济效益、社会效益“三统一”的方针;制定了环境保护的管理政策、经济政策、技术政策、产业政策和对外合作政策;颁布了《环境保护法》等 6 部环境法律和 9 部相关资源法律。在《刑法》中设立了惩治破坏环境资源犯罪行为的規定;国家和地方都制定和发布了相应的环境法规、规章。在 20 世纪末提出了把环境保护纳入制度化、法制化轨道的目标,确定了防治污染和保护生态环境并重的工作方针,确定了重点防治“三河”(淮河、辽河、海河)、“三湖”(太湖、巢湖、滇池)的水污染和“二区”(二氧化硫污染控制区、酸雨污染控制区)的大气污染,着力强化“一市”(北京市)的环境保护,实施主要污染物总量控制和跨世纪绿色工程两项举措;抓紧了环境法制、投入、科技与宣传教育四个关键环节的工作,使我国的环境保护工作得到较大的提升,环境质量初步得到控制。

我们水产科技工作者应该特别重视环境的质量。从行业来看,水产业是环境污染的首先受害者。因为未经处理的工业“三废”、生活污水、农业退水进入水体所引起水质的一系列恶化,首先危及的是水中的生物,结果导致渔业资源下降,病害增多,水产品增养殖的失败。

作为水产养殖科技人员,必须增强环境意识,提高保护环境的自觉性。要从以下三个方面提高自己的认识:一方面,要重视工业、农业及生活污水对渔业水体的污染,保护水产业的正常发展与合法利益。其次,要研究养殖水环境的变化、环境参数与生物间的关系,搞好水质调控。在保证人体健康的前提下达到水产品的优质、稳产、高产。第三,要重视水产养殖行业本身对环境的污染,做到合理布局、正确投饵和用药;要研究节水渔业、环境友好渔业和零排放水产养殖业,减少水产养殖对环境的污染。

一、我们生活的环境

人们把构成全球的环境按圈层划分为大气圈、水圈、岩石圈。生物生存在三个圈的部分空间中,主要集中在水圈、岩石圈与大气圈的相邻部分,称为生物圈。

(一) 大气圈

大气圈指覆盖整个地球,随地球运动的空气层。大气层的质量约 5.3×10^{21} g, 约占地球总质量的百万分之一。大气质量的 90% 聚集在离地球表面

15 km高度以下的大气层内,99.9%集中在48 km以内。

干燥清洁空气的主要成分如表0-1。其中 N_2 、 O_2 、Ar占空气总质量的99.96%。其余气体只占0.04%。 CO_2 、 O_3 和大气中的水汽是可变成分,含量很少,但对地球气候影响很大。

表0-1 海平面上空清洁干燥空气的组成

组成	体积百分数(%)	组成	体积百分数(%)
N_2	78.084	CH_4	0.000 2
O_2	20.947 6	NO	0.000 05
Ar	0.934	O_3	0~0.000 007
CO_2	0.031 4	SO_2	0~0.000 1
Ne	0.001 818	NO_2	0~0.000 002
He	0.000 524	NH_3	0~痕量
Kr	0.000 114	CO	0~痕量
Xe	0.000 008 7	I	0~0.000 001
H_2	0.000 05		

大气圈从地面向上可以分为对流层、平流层、中间层和热电离层。对流层厚约10~16 km,平流层从对流层顶到50 km处,中间层在50~85 km,85 km往上是热电离层。

对流层空气垂直活动频繁,直接影响世界各地气候。这一层的气温随离地面高度的增大而下降,气温的垂直变化率约为 $-6.5\text{ }^\circ\text{C}/\text{km}$ 。大气的压力,在海平面约为101.325 kPa(称为标准压力)。随着海拔高度的增加,大气压力按指数规律迅速降低。不同高度大气的平均压力如表0-2。

表0-2 大气层平均大气压力随海拔高度的变化

$h(\text{km})$	0	1	2	3	4	5	20
$P(\text{kPa})$	101.33	89.46	79.06	69.86	61.73	54.00	5.47

大气圈的污染不仅影响到局部地区空气的质量,还可能影响到全球气候的变迁。 CO_2 、 H_2O 、 O_3 、 CH_4 、 N_2O 、氯氟烃能吸收地面的长波辐射,不让热量向大气层外空散失,使大气变暖,称“温室效应”。故它们被称为“温室气体”。 CO_2 的温室效应显著。

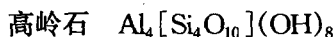
平流层的 O_3 浓度最大,它能吸收太阳辐射的大部分紫外线,对地球上的生命起

到保护的作用。氯氟烃(如氟利昂等)能破坏臭氧层,成了人们十分关注的问题。

(二) 岩石圈

岩石圈指地球表层具有刚性的这一部分,它包括地壳(厚度 5~75 km)及地幔上部与地壳相接的一部分,厚 60~120 km,是地质学研究的主要对象。在岩石圈中有许多天然产出的化合物或单质,它们的化学成分确定或在一定范围内变化,这类物质在地质上被称为“矿物”。矿物多数为结晶体,少量是非结晶体。地球上的矿物已知的有 3 300 多种,在岩石中常见的矿物只有 20 多种,其中又以长石、石英、辉石、闪石、云母、橄榄石、方解石、磁铁矿和黏土矿物为最多。其中,黏土矿物是天然水中胶体颗粒物的主要成分之一,它对水体化学物质的迁移、分布、转化有比较重要的意义。

黏土矿物晶体一般小于 2 μm ,主要是含水的铝、铁和镁的层状结构硅酸盐矿物,有的还含有某些碱金属和碱土金属。黏土矿物主要有高岭石、蒙脱石、蛭石、黏土级云母、伊利石等。几种黏土矿物的化学成分如下:



岩石是由一种或多种造岩矿物结合成的天然集合体,是经过各种地质作用形成的坚硬产物。岩石是构成地壳和地幔的主要物质。

岩石和矿物对天然水化学成分的形成有重要的作用,地表岩石风化后的可溶性产物可随地表径流进入各类天然水体。

土壤在岩石圈中占很少一部分,但它对人类生活有重要意义,对天然水质也有重要影响。人们常常把岩石圈称为岩石—土壤圈。

土壤是由地表岩石风化后的碎屑产物(土壤母质)在一定的水、热、生物作用下,通过一系列的物理、化学、生物化学作用而形成的松散体。植物生长良好的土壤体积约由 50% 的固体物构成,另约 50% 为气相(空气)和液相(水)成分。土壤化学成分除不同母质外,还含有丰富的有机质。土壤的有机质以腐殖质为主(占 85%~90%)。另外约有 10%~15% 的非腐殖质有机物,例如糖类、有机酸、木质素类等。这些成分对天然水化学成分的形成都有重要影响。

(三) 水圈

水是地球上生命的源泉。淡水是人类生活不可缺少的物质。水圈有广义与狭义两个概念。狭义“水圈”是指海洋与陆地各种贮水水体,包括海洋、江河、湖