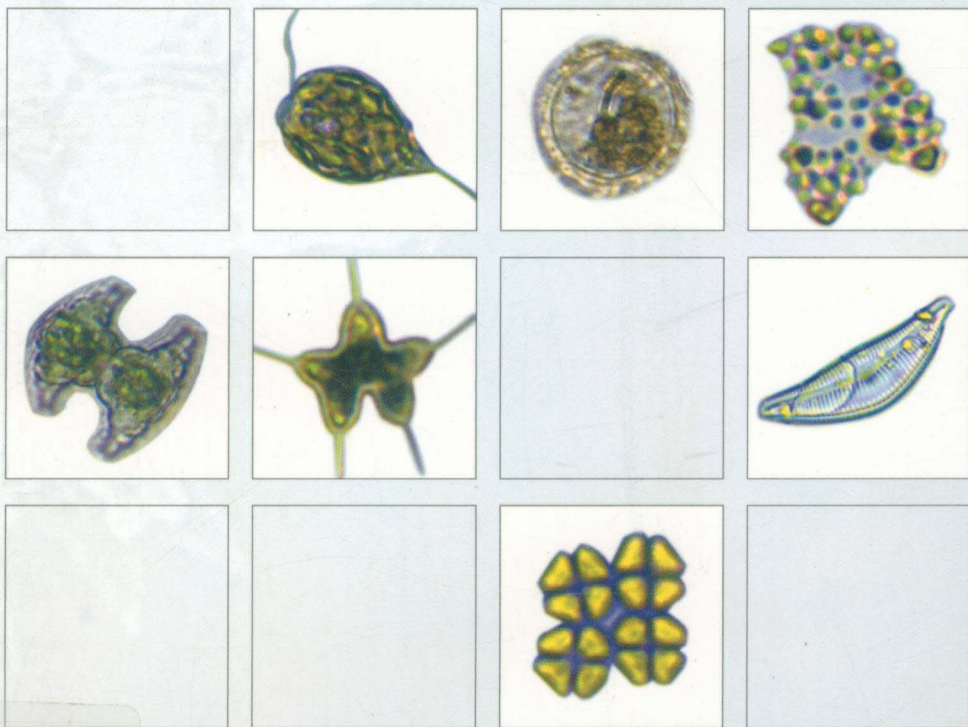


南四湖藻类 种群特征

裴海燕 著

N ANSIHU ZAOLEI
ZHONGQUN TEZHENG



中国环境科学出版社

南四湖藻类种群特征

裴海燕 著

中国环境科学出版社·北京

图书在版编目(CIP)数据

南四湖藻类种群特征/裴海燕著. —北京: 中国环境科学出版社, 2010.12

ISBN 978-7-5111-0440-3

I. ①南… II. ①裴… III. ①藻类—种群—研究—山东省 IV. ①Q949.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 258157 号

责任编辑 李卫民
责任校对 扣志红
封面设计 玄石至上

出版发行 中国环境科学出版社
(100062 北京东城区广渠门内大街 16 号)
网 址: <http://www.cesp.com.cn>
联系电话: 010-67112765 (总编室)
发行热线: 010-67125803, 010-67113405 (传真)

印 刷 北京联华印刷厂
经 销 各地新华书店
版 次 2010 年 12 月第 1 版
印 次 2010 年 12 月第 1 次印刷
开 本 787×960 1/16
印 张 9.5 彩插 24 面
字 数 175 千字
定 价 25.00 元

【版权所有。未经许可请勿翻印、转载, 侵权必究】

如有缺页、破损、倒装等印装质量问题, 请寄回本社更换

前 言

南四湖是我国北方地区最大的淡水湖泊，是南水北调东线工程重要的输水路线和调蓄湖泊，具有蓄水、防洪、排涝、灌溉、城市供水及航运等多种功能，不仅是京杭运河的重要组成部分，更是南水北调的黄金水道。

近年来，国内大型湖泊蓝藻水华频繁发生，严重影响了人们的生产生活用水及饮用水安全，引起了政府和人民群众的高度关注。南四湖作为南水北调工程重要的调蓄湖泊，其水质营养状况、藻类种群结构以及是否会发生水华，应该采取怎样的预防措施，是南水北调东线工程水污染防治工作中迫切需要解决的重大问题。不仅如此，南水北调工程实施后，长江水的引入是否会造成南四湖藻类种群构成的变化，也是水利及环保等管理部门和科研工作者关心的问题。因此，在长江水调入南四湖之前，对南四湖藻类种群及其分布特征进行研究，不仅能对预防和控制南四湖藻类水华提供有利的科技支撑，同时还可为将来进一步研究南四湖藻类提供翔实的资料，奠定坚实的基础。

本书通过对南四湖 5 个监测断面连续两年每月一次的采样，分析了南四湖水体浮游藻类种属组成、藻细胞密度变化、各监测点浮游藻类优势种群构成及月份变化，揭示了南四湖典型区域水体浮游藻类种群结构随季节变化的演替模式；对南四湖水样中检测到的所有 8 门 81 属 165 种（包括变种）藻类均拍摄了显微照片，整理形成了南四湖藻类彩色图版；在监测南四湖水体水质的基础上，采用不同湖泊营养状态评价方法评价了南四湖水体营养状况；从蓝藻水华的机理、南四湖历年水质状况、浮游藻类优势种属、蓝藻优势种类分析了历史上南四湖没有发生过水华的原因。

在对南四湖藻类种群特征的有关研究过程中,得到了国务院南水北调办公室政策研究室课题、国家自然科学基金(51078221)、科技部国际合作项目(2010DFA91150)和山东省国际合作项目(2008GJHZ20601)的资助。此外,还得到了山东省南水北调工程建设管理局、山东省环保厅、济宁市环保局、山东省环境监测中心站、济宁市环境监测站的大力支持与帮助,在此谨表示衷心的感谢!

感谢田昌、刘倩辉、纪雁、侯庆杰4位研究生在藻类分析和照片拍摄及整理过程中所作的辛勤劳动!感谢解军高级研究员在水样分析方面所做的有关工作!

本书在藻类鉴定方面主要参考了胡鸿钧教授等编著的《中国淡水藻类系统、分类及生态》(2006,科学出版社),在此,表示衷心的感谢!

真诚希望本书能对我国淡水湖泊保护和藻类学研究尽绵薄之力!

作者
2010年10月

目 录

第一章 南四湖及其水质特征	1
第一节 南四湖概况	1
第二节 水质现状及富营养状态	5
第三节 南四湖与南水北调工程	15
第四节 南四湖藻类种群特征研究目的	19
第二章 浮游藻类分布规律	22
第一节 浮游藻类种群构成	22
第二节 浮游藻类季节变化	33
第三节 浮游藻类多样性和均匀度	41
第三章 绿藻门种属组成及特征	44
第一节 绿藻种属组成及细胞密度的季节变化	44
第二节 绿藻各种属图谱及生长特性	58
第四章 硅藻门种属组成及特征	73
第一节 硅藻种属组成及细胞密度的季节变化	73
第二节 硅藻各种属图谱及生长特性	87
第五章 蓝藻门种属组成及特征	94
第一节 蓝藻种属组成及细胞密度的季节变化	94
第二节 蓝藻各种属图谱及生长特性	104
第三节 历年蓝藻变化特征及其原因分析	109
第六章 裸藻门种属组成及特征	112
第一节 裸藻种属组成及细胞密度的季节变化	112

第二节 裸藻各种属图谱及生长特性	121
第七章 其他门种属组成及特征	124
第一节 其他门藻类种属组成及细胞密度的季节变化	124
第二节 其他门藻类各种属图谱及生长特性	133
参考文献	138
附图	145

第一章 南四湖及其水质特征

第一节 南四湖概况

一、地理位置

南四湖位于山东省西南部济宁市微山县境内，地理坐标为东经 $116^{\circ}34' \sim 117^{\circ}21'$ 、北纬 $34^{\circ}27' \sim 35^{\circ}20'$ ，由南阳湖、独山湖、昭阳湖、微山湖四湖相连而得名。南北长 126 km，东西宽 5~25 km，周边长 311 km，湖泊面积 1 178 km²，总库容 47.3 亿 m³，入湖河流 53 条，总流域面积 31 700 km²，占山东省淡水面积的 45%，具体地理位置如附图 1 所示。

二、水文

(一) 水系

南四湖流域的河道属淮河流域泗水系，流域跨山东、江苏、河南、安徽 4 省 32 个县（市）。总流域面积 317 万 hm²，其中山东省 262.55 万 hm²，江苏省 32.5 万 hm²，河南省 21.35 万 hm²，安徽省 0.60 万 hm²。按汇水地区分，湖东山丘区 93 万 hm²，北部及湖西平原区 210 万 hm²，余为南部。按汇水面积分，南阳湖 199.94 万 hm²，独山湖、昭阳湖 76.43 万 hm²，微山湖 40.63 万 hm²。

① 入湖河道。南四湖出现之前，南四湖东、北、西三面的河道大都注入泗水，湖形成后，开始注入南四湖。

南四湖直接入湖河道 53 条，总流长 1 691.5 km。其中，流域面积 10 万 hm² 以上河流 9 条：东渔河、泗河、洙赵新河、洸府河、梁济运河、白马河、复新河、大沙河、新万福河，1 万~10 万 hm² 河流 15 条：城郭河、北沙河、北界河、洙

水河、龙河、老万福河、蔡河、姚楼河、新薛河、薛沙河、薛王河、鹿口河、郑集河、沿河、挖工庄河，其余均在 1 万 hm^2 以下。

② 出湖河道。南四湖出湖河道有 3 条：韩庄运河、伊家河和不牢河。

韩庄运河是南四湖的主要泄水河道，于韩庄南新河头村东南出境，全长 42.5 km，境内长 3.5 km。

伊家河，原名伊河，始凿于清乾隆二十二年（1757 年），位于韩庄运河南，于新河头村东南出境，全长 34 km，境内长 3.5 km。

不牢河，原为微山湖的主要泄水河道，全长 75 km，堤距 300 m，河槽宽 100 m。

（二）水位

1960 年，二级坝建成后，上级湖允许最高水位 36.5 m，兴利水位 34.2 m，死水位 33.0 m；下级湖允许最高水位 35.0 m，兴利水位 32.5 m，死水位 31.5 m。

1953—1990 年最高水位为 36.48 m，出现在 1957 年 7 月 25 日。最低水位出现在 1989 年 9 月，南阳湖、昭阳湖、独山湖全部干涸，仅剩微山湖 2.73 万 hm^2 水面。2002 年，微山出现了百年不遇的大旱，湖内蓄水由 2001 年汛末的 12 亿 m^3 急剧下降到 0.2 亿 m^3 ，达到历史最低水平，整个湖区几近干枯，船只搁浅，给南四湖地区经济发展造成严重损失，湖区内的生物物种面临灭绝的危险。为保护南四湖生态环境，山东省政府按照时任国务院副总理温家宝同志“保秋种，重点保南四湖生态用水”的指示，于 2002 年 10 月，调引黄河水 6 000 万 m^3 进行了补湖，但由于水量有限，绝大部分湖区仍不能解决生态环境用水问题。为此，国家水利管理部门于 2002 年 12 月 8 日从长江调引 1.1 亿 m^3 水注入南四湖，基本上能达到生态用水要求，对保全湖区物种、恢复湖区生态系统发挥了重要作用。

三、湖域

（一）容积

南四湖的中部最窄，称为湖腰，1960 年在湖腰建成二级坝枢纽，把南四湖一分为二，坝北为上级湖，坝南为下级湖，坝上兴建了节制闸和船闸。上级湖集水面积 26 934 km^2 ，补给系数为 44.7，湖盆平均坡度为 1.15，形状特征参数为 0.63；下级湖集水面积 3 519 km^2 ，补给系数为 5.30，湖盆平均坡度 1.13，形状特征参数为 0.70。

南四湖盆地地势东北高，西南低，东西相向倾斜。盆地平缓，高程分别为：微山湖 30 m，昭阳湖 31.5 m，独山湖 32 m，南阳湖 32.5 m。1935 年全湖达到最大蓄水量，微山湖为 8.02 亿 m^3 ，昭阳湖为 5.15 亿 m^3 ，独山湖为 2.89 亿 m^3 ，南阳湖为 4.15 亿 m^3 ，总计为 20.21 亿 m^3 ，平均水深 2 m。1960 年，二级坝建成后，全湖最大库容量 47.31 亿 m^3 ，兴利调节库容量 11.28 亿 m^3 ，死库容量 5.74 亿 m^3 ，平均水深 1.5 m，汛期最大水深 2.5~3 m。南四湖水位、面积、容积关系见表 1-1。

表 1-1 南四湖水位、面积、容积关系

水位/m	面积/ km^2			容积/亿 m^3		
	上级湖	下级湖	合计	上级湖	下级湖	合计
30.0	0	29	29	0	0.03	0.03
30.5	0	148	148	0	0.43	0.43
31.0	0	262	262	0	1.49	1.49
31.5	0	359	359	0	3.06	3.06
32.0	87	481	568	0.18	5.07	5.25
32.5	235	585	820	0.99	7.78	8.77
33.0	439	650	1 089	2.68	10.90	13.58
33.5	566	659	1 225	5.12	14.19	19.31
34.0	599	663	1 262	8.04	17.49	25.53
34.5	600	664	1 264	11.04	20.79	31.83
35.0	601	664	1 265	14.04	24.12	38.16
35.5	602	664	1 266	17.09	27.46	44.55
36.0	602	664	1 266	20.14	30.78	50.92
36.5	602	664	1 266	23.19	34.10	57.29
37.0	602	664	1 266	26.24	37.42	63.66

(二) 湖湾岛屿

南四湖中有较大的湖湾 4 个，总面积 1 086.7 hm^2 ，包括：① 独山湾，位于独山湖北部独山岛之北，面积 340 hm^2 ；② 郝山湾，位于微山湖北部，郝山之西北，面积 533.3 hm^2 ；③ 马山湾，位于微山湖南部，接铜山县界，面积 100 hm^2 ；④ 荣沟湾，位于微山湖西南部，接沛县界，面积 113.4 hm^2 。

南四湖中较大的岛屿有 4 个，包括：

① 微山岛。坐落在微山湖中部偏东，距湖东岸 2.5 km。岛南北长 3.5 km，东西宽 6 km，海拔 91.6 m。微山岛原系沂蒙山地西部边缘的一座无名小丘，

自从有微子墓之后，当地人称为微子山，或微山。微山湖形成之后，始成为岛屿。

② 南阳岛。坐落在南阳湖中，系顺运河堤筑成的人工岛。唐宋时，本为泗水岸边的村落，南北大运河通航后，遂成为运河岸边的码头。南四湖形成后，始成为湖中的岛屿。大运河穿岛而过，岛随河道弯曲延伸，长 0.9 km，宽 0.3~0.5 km。

③ 独山岛。坐落在独山湖的西北部，距湖北岸 1 km。独山为鳊山山脉的余脉，因孤独而立得名。独山湖形成后，始成为岛屿。独山岛南北长 1.5 km，东西宽 2 km，海拔 106 m。

④ 黄山岛。坐落在微山湖的南部，黄山岛附近尚有祖套、铜山、土山诸小岛，总面积约 3.53 km²。

四、气象与气候

南四湖的风向主要受天气系统影响，与周围陆地风向无甚差异。从济宁、鱼台、马口和微山等监测资料分析，湖区以东南风为主导风向，频率为 9%~11%，平均风速为 2.7~3.8 m/s。其中 12 月、1 月的主导风向是偏北风，频率约为 10%，月平均风速为 2.3~3.5 m/s；2—8 月以偏南风为主，频率为 10%~19%，月平均风速为 2.3~4.8 m/s；9 月的风向不规律，月平均风速为 2~3 m/s；10 月和 11 月的主导风向仍是偏南风，频率为 9%~21%，月平均风速为 2~3.5 m/s。瞬时风速超过 8 级的大风一般出现在 4 月和 6 月，以偏北风为主，年平均大风日数约 9.7 d。湖内风速与沿湖陆地风速正相关，湖内风速比沿湖陆地风速平均高 2.5 m/s。风速越大，差值越大。

南四湖流域属暖温带、半湿润季风大陆性气候，年平均气温 13.7℃，年平均日照 2 530 h 左右，无霜期 209~224 d。降水量在地区分布上很不均匀，年平均降水量湖西约 700 mm，湖东 750~850 mm，总的变化趋势是从东南向西北递减。其中有 60%~70% 的降雨集中在汛期，多为气旋雨或台风雨，极易造成洪涝灾害。降水量的年际变化大，年内分布也很不均匀，汛期 6—9 月降水量占年降水量的 70% 左右。全流域多年平均水面蒸发量约 1 000 mm，陆面蒸发量 500~650 mm。南四湖几乎每年都有冰情，冰封期往往从 12 月中旬开始至翌年的 2 月 10 日前后结束，冰层厚约 15 cm。个别年份的冰封期长达 3 个月，冰层厚近 30 cm。

第二节 水质现状及富营养状态

一、水质现状

南四湖入湖河流多为季节性河流，主要靠自然降水产生的地表径流补给水源，但遇到枯水年份降水偏少时，河流中主要是生活污水和处理后的工业废水。南四湖作为浅水型湖泊，泄水不畅，换水周期长，这些因素决定了地表水体稀释自净能力较差，水环境容量不大，易造成汛期形成的径流将河流中积蓄的污水冲入湖中，对湖泊造成污染。

2008年6月—2009年5月，笔者在南四湖每月初进行采样，共采样12次。在遵循代表性原则的基础上，结合考虑南四湖的实际情况，选取5个监测断面 S_1 、 S_2 、 S_3 、 S_4 、 S_5 ，分别位于南阳湖、独山湖、二级坝附近、昭阳湖和微山湖。其中，前白口、南阳位于上级湖，大捐和岛东位于下级湖，二级坝位于湖中部，具体位置如图1-1所示。南四湖是浅水型湖泊，水深小于5m且水体无热分层现象，因此采样点设在水下0.5m。用有机玻璃采水器采集水样5L后，水样在避光、低温下保存，然后运送至实验室进行水质分析。水质指标如图1-2~图1-9所示。

1. 水温

温度对藻类的生命活动有重要的影响，一方面通过控制光合作用或呼吸作用强度，直接影响藻类的生长繁殖；另一方面，可通过控制水体中各类营养物质的溶解度、离解度或分解率等理化过程间接影响藻类的生长。

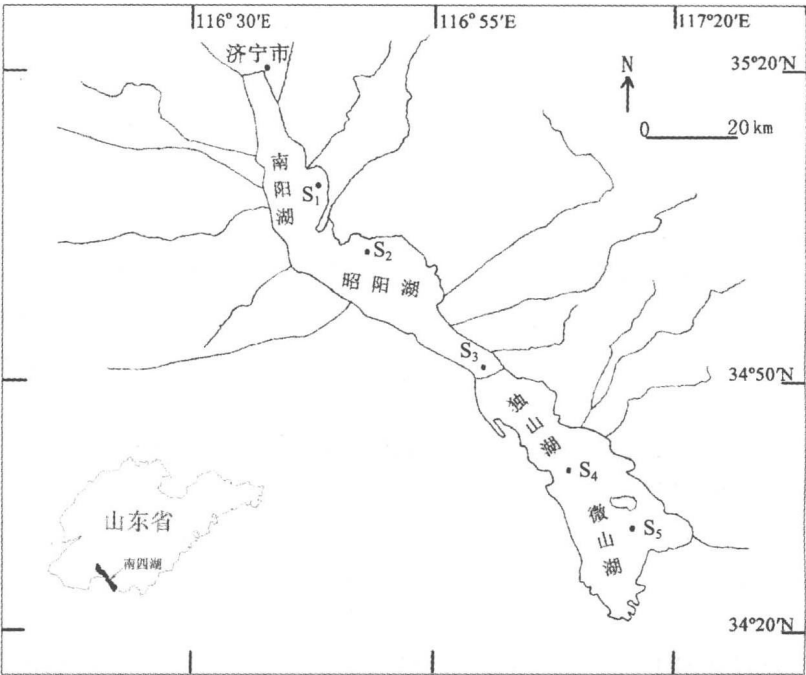
由于地理位置的原因，南四湖5个监测点测得的水温差别不明显，图1-2为不同月份各监测点水温平均值。南四湖水温全年变化范围为 $1.04\sim 27.82^{\circ}\text{C}$ ，全年平均 14.7°C 。2008年6—9月水温维持在较高水平，平均值为 24.97°C ，适宜藻类的生长。

2. pH值

pH值是表征水体质量的一个重要指标，与水中溶解物质的溶解度、化学形态、特性、行为和效应有着密切关系，对水中生物的生命活动也有着重要影响。水体pH值随藻类的大量生长而呈现上升的趋势。

图1-3表明，南四湖水体全年pH值变化范围为 $7.23\sim 8.41$ ，月均值为7.61，为弱碱性水质，最高值出现在2009年5月，最低值出现在2009年4月。湖泊水

体 pH 值一般变化不大, 但南四湖水体中 2009 年 5 月水体 pH 值明显高于其他月份, 可能与流入湖体的水质有关。



注: S₁—前白口; S₂—二级坝; S₃—南阳; S₄—大捐; S₅—岛东

图 1-1 南四湖采样点位置

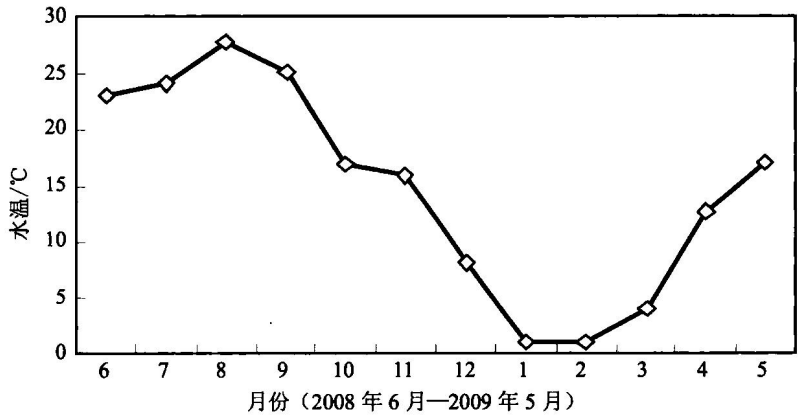


图 1-2 南四湖水体水温月份变化

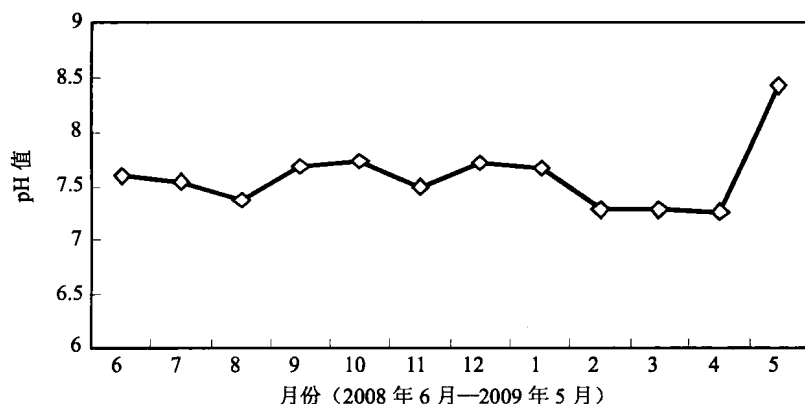


图 1-3 南四湖水体 pH 值月份变化

3. 透明度

透明度是水体的澄清程度，水中存在悬浮物、胶体物质、有色物质和藻类时，透明度降低。湖泊及湖泊型水库的水体透明度主要受各种浮游生物影响，在一定范围内，透明度的高低可以反映浮游藻类的多寡，而浮游藻类的多寡与水质富营养化状况直接相关。

图 1-4 为南四湖各月份透明度值。其透明度常年低于 0.7 m，透明度全年平均值为 0.50 m。南四湖平均水深约 1.5 m，为典型的平原浅水型湖泊，水体透明度常年变化不大，可能与频繁的水体混合和松散悬浮物的上浮有关。此外，浮游动物的多寡、悬浮物、溶解性有机物质 (DOM) 也影响水体透明度。

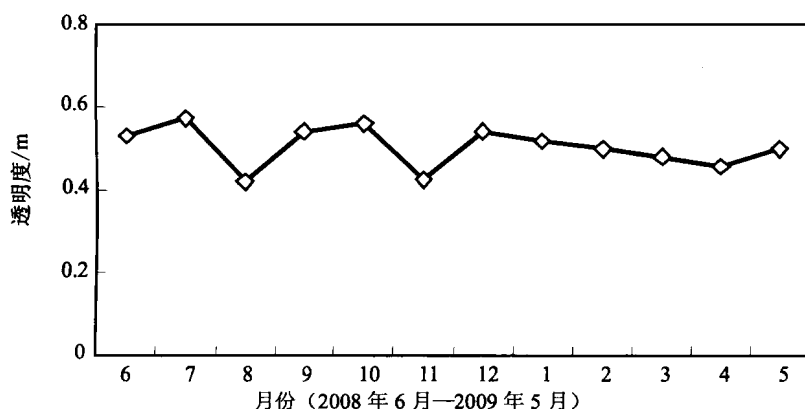


图 1-4 南四湖水体透明度月份变化

4. 溶解氧 (DO)

水体中溶解氧的含量与大气压力、水温、水质、水生生物等物理化学及生物因素有关。清洁地表水溶解氧接近饱和。当有大量藻类繁殖时,溶解氧可能过饱和;当水体受有机物质、无机还原物质污染时,会使溶解氧含量降低,甚至趋于零,水体厌氧细菌生长繁殖活跃,水质恶化。

图 1-5 表明,南四湖水体溶解氧含量较高,月均值为 7.77 mg/L ,最高值出现在 2008 年 12 月,为 8.88 mg/L ,最低值出现在 2009 年 3 月,为 6.62 mg/L 。春夏季节,水体溶解氧浓度稍低于冬季。2009 年 3 月,南四湖水体中溶解氧降低,可能是水体中还原性污染物含量高,污染物的分解消耗了大量溶解氧所致。

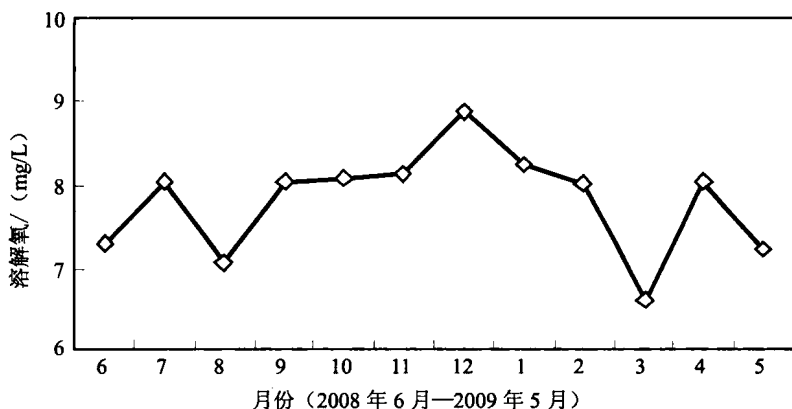


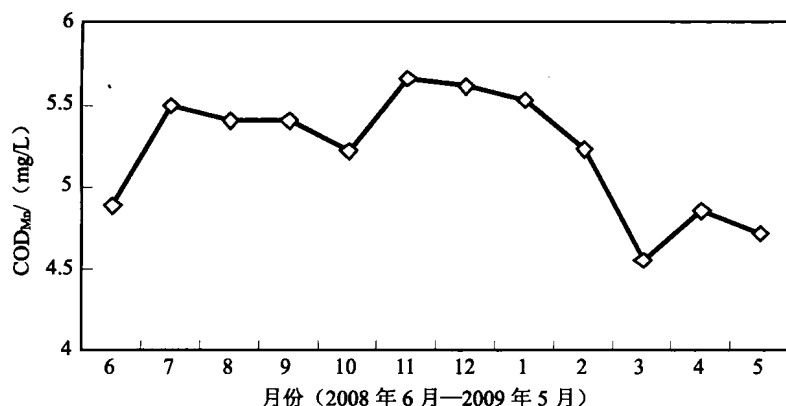
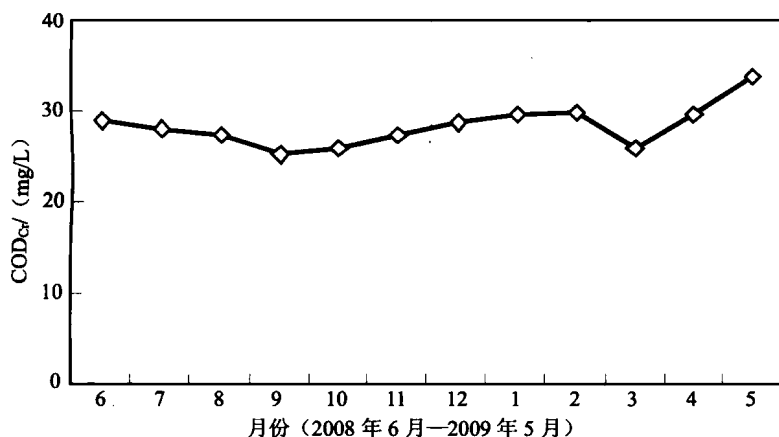
图 1-5 南四湖水体溶解氧月份变化

5. 高锰酸盐指数 (COD_{Mn})

高锰酸盐指数常被作为地表水受有机物和还原性无机物污染程度的综合指标。南四湖各月份高锰酸盐指数如图 1-6 所示。该湖泊水体全年 COD_{Mn} 浓度变化范围为 $4.55 \sim 5.65 \text{ mg/L}$,各月份均达到地表水环境质量标准Ⅲ类标准的要求, COD_{Mn} 浓度冬季高于其他季节。

6. 化学需氧量 (COD_{Cr})

化学需氧量反映了水中受还原性物质污染的程度。图 1-7 表明,南四湖水体 COD_{Cr} 浓度变化范围为 $25.08 \sim 33.74 \text{ mg/L}$,平均值为 28.46 mg/L 。全年 COD_{Cr} 浓度波动较小,2008 年 9 月 COD_{Cr} 浓度最低,2009 年 3—5 月明显升高。

图 1-6 南四湖水体 COD_{Mn} 月份变化图 1-7 南四湖水体 COD_{Cr} 月份变化

7. 总磷 (TP)

磷是藻类生长的必需元素之一，是影响水体初级生产力的重要因素。但水体中磷含量过高，会导致富营养化，使水质恶化。

图 1-8 为南四湖各月份 TP 的变化情况。该湖泊 TP 月均浓度变化范围为 0.042~0.136 mg/L，均值为 0.082 mg/L，最高值出现在 2008 年 8 月，最低值出现在 2009 年 4 月。夏季水温高，湖泊底泥消化快，释放磷的速度加快。夏季自然降水和入湖径流流量都有所增加，特别是来自纳污河道的径流，把长期寄居在河道中的污染物冲入湖中，使湖水中磷浓度升高。

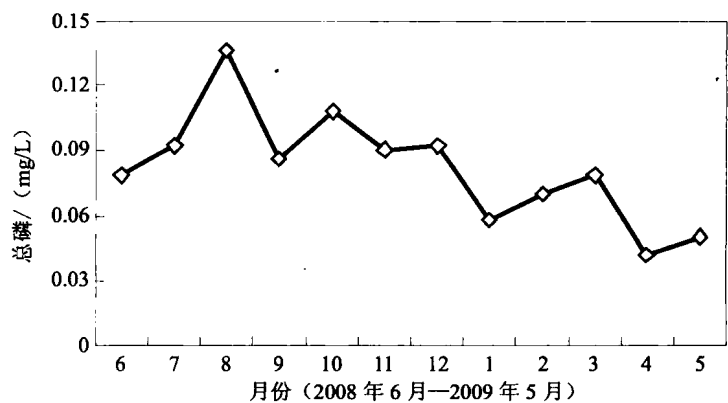


图 1-8 南四湖水体 TP 浓度月份变化

8. 总氮 (TN)

总氮是指水体中各种形态（含溶解态与吸附态、有机态与无机态）氮含量的总和，溶解性无机氮是指水体中以溶解态存在的无机氮（含氨氮、亚硝酸盐氮、硝酸盐氮），是可被藻类植物直接吸收利用的重要形式。

图 1-9 表明，南四湖 TN 月均浓度变化范围为 0.69~2.33 mg/L，均值为 1.33 mg/L，超过了地表水环境质量标准Ⅲ类标准的限值，最高值出现在 2008 年 12 月，最低值出现在 2008 年 9 月。南四湖水体夏季和冬季 TN 浓度高于秋季和春季，这可能与夏季内源和外源总氮负荷增加有关，其并没有因水生生物的消耗而降低；冬季水生生物消耗营养物质少，动植物残体被分解转化，总氮浓度又有所回升。2009 年 2—5 月，南四湖水体 TN 浓度趋于平稳。

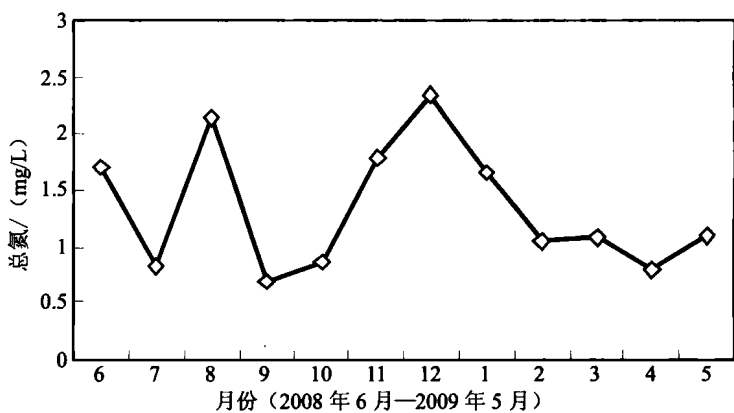


图 1-9 南四湖水体 TN 浓度月份变化