DOI：10.13718/j.cnki.xdzk.2021.07.024

湿地公园水环境质量与功能区优化研究
——以苏州 6 个国家湿地公园为例

程珊珊[1]，　朱　颖[1]，　龚亚西[2]，　冯育青[3]

1. 苏州科技大学 建筑与城市规划学院，江苏 苏州 215011；2. 中国矿业大学 力学与土木工程学院，江苏 徐州 221116；3. 苏州湿地保护管理站，江苏 苏州 215131

摘要：湿地公园作为区域水环境保护和湿地生态系统保护的重要模式，在调节气候、涵养水源、补给地下水和维持生物多样性等方面发挥着十分重要的作用. 对苏州 6 个国家湿地公园水环境质量进行分区监测，设置采样点 53 个，采集 2019 年 2 月—2020 年 1 月水环境指标. 运用内梅罗指数和离散指数对湿地水环境的营养物指标、生物学指标和环境指标进行评价，比较不同形态、功能和空间特征对水环境质量的影响，并就块状均匀、复层围堰、多塘结构和块状集聚 4 类不同结构的湿地公园提出分区优化策略，为新规范颁布后的新一轮修编工作提供合理的优化建议和科学参考，这对太湖流域湿地生态系统保护具有重要生态价值.

关　键　词：苏州；国家湿地公园；水环境质量；功能分区

中图分类号：X824　　**文献标志码：A**　　**文章编号：**1673－9868(2021)07－0195－18

近年来我国在食品安全和医疗卫生等领域取得了举世瞩目的成就，但环境问题仍是阻碍和威胁人类生存和发展的重要因素，其中水环境保护已经上升到国家战略发展高度. 湿地作为水陆生态系统的过渡地带，与森林、海洋并称为全球三大生态系统，在涵养水源、补给地下水等方面起着重要作用. 水环境质量是反映湿地生态系统可持续性的重要指标，湿地公园又是流域水环境保护的重要体现.

研究表明，自然、人为和景观是影响湿地水环境质量的主要因素[1]. 自然因素包含气候、土壤、地形和植被等，Rothwell 等[2]发现污染物通过土壤吸收、释放和径流改变等方式共同影响湿地水质；Chang 等[3]认为季节性降雨是影响湿地水质的重要气候原因；Frost 等[4]表明地形对湿地水质的影响主要通过水文侵蚀过程的约束作用；郝敬锋和陈峰等[5-6]发现湿地类型和植物群落特征是影响湿地水质的主要因素，原生湿地水质优于改造湿地和次生湿地. 人为因素包含土地类型、社会经济因素和管理措施等，唐源英等[7]认为建设用地比例超过 10％会导致水库中含氮污染物的浓度大幅增加；李武陵[8]的研究表明旅游干扰会导致湿地水质富营养化；方娜等[9]得出湿地水质主要受耕地面积及河流污染物影响的结论. 景观结构、格局和功能与湿地水环境演化特征间的关联性是如今湿地研究的热点，有助于从整体上揭示综合性湿地水环境效应[10]. 袁旸洋等[11]认为生态景观结构影响着水体富营养物质的流失和转化，水体生态功能受景观构型异

收稿日期：2020－03－22
基金项目：国家重点研发计划项目(2018YFD1100203)；教育部人文社会科学研究项目(17YJAZH137)；江苏省研究生科研与实践创新计划项目(091990020).
作者简介：程珊珊，硕士，主要从事风景园林规划设计理论与实践研究.
通信作者：朱　颖，博士，副教授.

质性影响；吴宜洁等[12]发现多塘结构对高浓度污染物有较好的削减作用；李玉凤等[13]得出不同湿地功能水体富营养化程度差异明显，水塘水体要低于河溪富营养化程度的结论；郑囡[14]的研究表明景观结构不同湿地水质存在差异，其中水域面积、形状及景观多样性与水质成正比，景观均匀度和破碎度与水质成反比.

当前我国已出台一系列规章制度，按批准建设及主要管理部门不同可分为国家湿地公园、城市湿地公园等类型. 国际上多数国家和地区虽未直接命名湿地公园，但大都冠以国家公园、人工湿地等称呼[15]，并将湿地公园功能分区的合理划定视为保障和发挥其各项生态功能的必要前提. 常采用的分区方法有依据湿地资源类型实行封育式管理，计算湿地恢复能力设置湿地缓冲区，确定湿地干扰因素划定特殊保护区等[16-18]. 国家林业和草原局先后颁布了《国家湿地公园建设规范》(LY/T 1755-2008)和《国家湿地公园总体规划导则》(林湿综字[2010]7号)，2018年最新颁布的《湿地公园总体规划导则》(林湿综字[2018]1号)将国家湿地公园功能分区重新划定为保育区、恢复重建区和合理利用区，功能区划由5类调整为3类①，为此全国正面临新一轮的国家湿地公园(截至2019年底包含试点共898个②)总体规划修编工作.

湿地公园中属国家湿地公园等级最高、投入最多、效果最好，承担着保护湿地生态系统的重任. 太湖作为我国第三大淡水湖泊，是周边城市主要的饮用水源地，流域涵盖经济最发达、人口最稠密的长三角地区，目前周边8个地级市共建设有17个(包含3个试点)国家湿地公园. 本研究选取苏州6个国家湿地公园为对象(图1)，通过对比修编前后1整年的水环境指标，旨在揭示不同景观结构与水环境质量间的相互作用关系，有利于制定和实施湿地公园水污染防治的相关规划调控策略，为湿地生态系统健康与可持续发展提供方法借鉴和实践参考.

图1 苏州国家湿地公园分布图

1 研究区域与研究方法

1.1 区域概况

苏州位于太湖流域中部、江苏省东南部，东经119°55′～121°20′，北纬30°47′～32°02′，属亚热带季风气候，年均气温15.7 ℃，年均降水量1 100 mm. 全市地势低平，河流纵横、湖泊众多，太湖湖水经西部山区河流汇入，经太湖调蓄从东部流出. 湿地面积3 395 km^2(不含水稻田)，占全市总面积的40%，自然湿地

① 国家林业和草原局. 国家林业和草原局湿地保护管理中心关于印发《湿地公园总体规划导则》的通知. 林湿综字[2018]1号.

② 湿地中国. 国家级湿地公园名录. http://www.shidi.org/unit.html.

2687.62 km^2，分别为沼泽湿地 188.81 km^2，湖泊湿地 1 878.36 km^2，河流湿地 620.45 km^2. 目前全市拥有 102 个市级重要湿地和 21 个湿地公园，苏州国家湿地公园补水方式除自然降雨外皆由太湖供给(表 1)，具有相似的气候和水文等特征[19].

表 1　苏州国家湿地公园名录

湿地名称	基本概况	景观结构	水文特征	湿地类型
太湖国家湿地公园(TH)	高新区镇湖镇南部，2.30 km^2.	块状均匀型	封闭水系，原为太湖湖湾，现为内湖，园内水系与太湖通过闸门相连，园外环状河道为出入太湖水域的河口.	人工、河流、沼泽占总类型 60%. 鱼塘 0.388 km^2，水稻田 0.039 km^2；河流湿地 0.007 km^2；沼泽湿地 0.012 km^2.
常熟沙家浜国家湿地公园(SJB)	常熟市昆承湖东南，4.14 km^2.	块状均匀型	封闭水系，属太湖流域阳澄水系，分圩内、圩外两套系统，圩外西北为昆承湖和两条市级河道，东侧为流域性河道.	沼泽、河流、湖泊占总类型 65%. 沼泽湿地 1.298 km^2；河流湿地 0.618 km^2；湖泊湿地 0.315 km^2.
太湖湖滨国家湿地公园(HB)	吴中区香山街道，7.10 km^2.	复层围堰型	开放水系，处太湖沿岸水陆交界区域，是典型生态交错带，利用原有芦苇湿地，通过围堰清淤恢复原湖滨带湿地.	湖泊、沼泽占总类型 94.83%. 湖泊湿地 6.133 km^2；草本沼泽 0.449 km^2，森林沼泽 0.150 km^2.
太湖三山岛国家湿地公园(SSD)	吴中区东山镇西南，7.57 km^2.	复层围堰型	开放水系，三山岛等三岛附近水面开阔是太湖中的独立小岛，岛上无大型河流，只零散分布着一些坑塘水体.	湖泊、人工、河流占总类型 66%. 湖泊湿地 4.992 km^2；人工湿地 0.037 km^2；河流湿地 0.005 km^2.
昆山天福国家湿地公园(TF)	昆山市花桥镇北部，7.91 km^2.	多塘结构型	封闭水系，太湖流域吴淞江水系中游北侧一块洼地，通过鸡鸣塘、大瓦浦河汇集，并用河闸合理调控水系.	人工、河流、沼泽、湖泊占总类型 60%. 人工湿地 1.802 km^2；河流湿地 1.345 km^2；沼泽湿地 0.844 km^2；湖泊湿地 0.797 km^2.
吴江同里国家湿地公园(TL)	吴江区同里镇东部，11.43 km^2.	块状集聚型	开放水系，在太湖流域两个水系间，上游西北为阳澄水系，下游东南为淀泖水系，园内共计 3 个湖泊、8 条河流.	湖泊、人工、沼泽、河流占总类型 73%. 湖泊湿地 5.792 km^2；库塘 0.951 km^2，稻田 0.219 km^2；草本沼泽 0.927 km^2，森林沼泽 0.061 km^2；河流湿地 0.353 km^2.

1.2　特征分析

1.2.1　形态特征

将国家湿地公园分为受保护自然湿地(湿地保育区、恢复重建区)和不受保护自然湿地(合理利用区、宣教展示区、管理服务区)，因而受保护的自然湿地面积受人为干扰强度较小，区域内水环境质量较好. TH 为棋盘式，有 4 个干扰面，180°景观面，干扰强度较大，景观视野较好；SJB 湿地景观呈围合式，有 2 个干扰面，90°景观面，干扰强度一般，景观视野一般；HB 沿太湖沿岸呈条带式，有 1 个干扰面，180°景观面，干扰强度较小，景观视野较好；SSD 的干扰区位于主岛，湿地资源沿岛屿周边呈内环式，有 1 个干扰面，360°景观面，干扰强度较小，景观视野好；TF 的干扰区位于地块中央，将湿地景观分为三块呈串并式，有 6 个干扰面，270°景观面，干扰强度大，景观视野好；TL 为并列式，有 2 个干扰面，360°景观面，干扰强度一般，景观视野好(图 2).

1.2.2　功能特征

苏州国家湿地公园以湖泊、河流、人工及沼泽湿地为主. TH，SJB 和 TF 作为封闭水系受外界干扰较小，湖泊湿地下游宜划入受保护自然湿地面积，可对上游水质起净化作用，实现生态保育功能；HB，SSD

和TL作为开放水系，水流交换频繁，河流成为连接着公园内外功能的生态廊道，为此过境水系的永久性河流宜设在湿地公园核心区外，便于控制和管理外源水污染的直接侵入；人工湿地如稻田和果园等，受经济价值影响，人为干扰强度较大，应划入恢复重建区和合理利用区；沼泽湿地中草本沼泽生态较为脆弱，需加强生态保护，可设为湿地保育区和恢复重建区，以湖泊、河流为屏障，能为鸟类提供栖息、繁衍和觅食场所；森林湿地的观赏价值、旅游价值较为突出，可将部分面积划入非保护区面积设为合理利用区，适当进行市场化开发；除科研场地外，聚落、道路和基础设施等建设用地应全部划入合理利用区，并远离湿地保育区，以有效降低污染源扩散(图3).

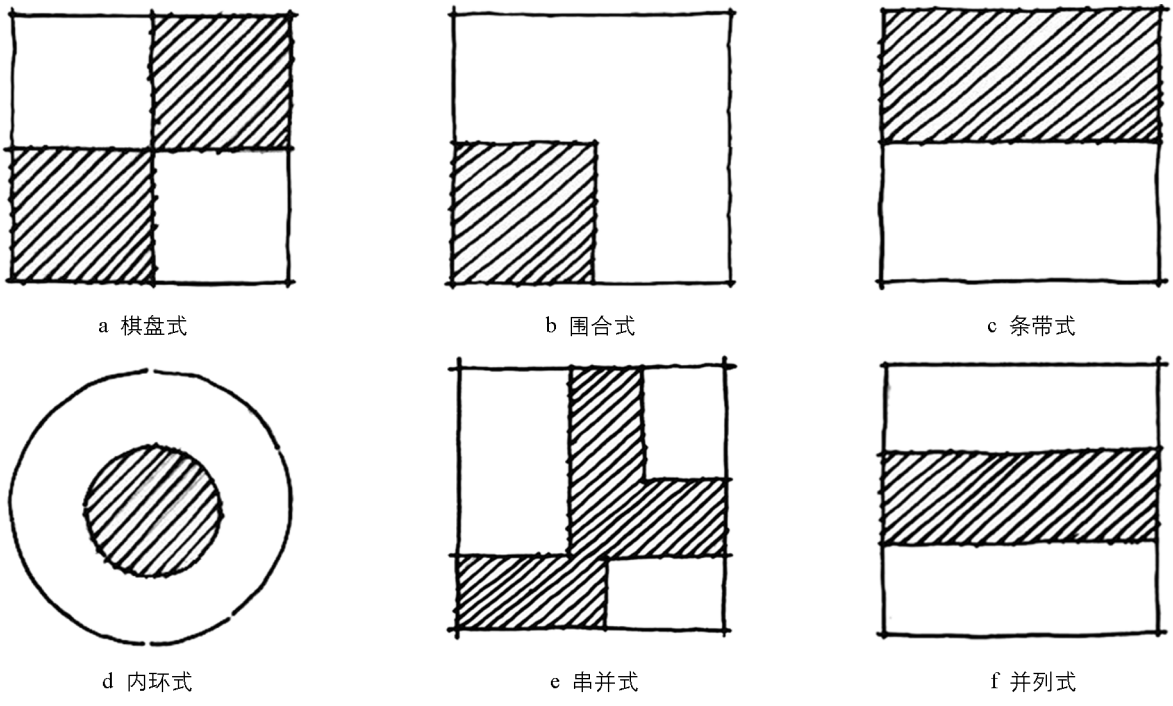


图2 苏州国家湿地公园分区形态

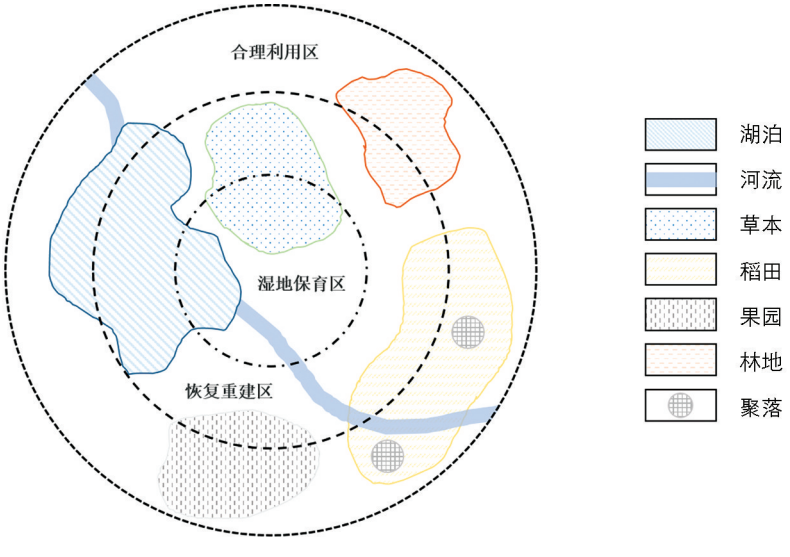


图3 苏州国家湿地公园功能结构

1.2.3 空间特征

苏州国家湿地公园可分为块状均匀型、复层围堰型、多塘结构型、块状集聚型4种结构类型(图4). 依

据苏州园林和绿化管理局、苏州湿地保护站历年来发布的《苏州湿地保护情况年报(2015－2020)》可知，TH，SJB 属块状均匀型，由围养鱼塘经退渔还湿改造而成，各结构单元水系连通较好、交界面较多，在水环境质量上各分区水质指标整体拟合度较高，但局部易受外在因素干扰①；HB，SSD 属复层围堰型，由太湖湖岸或湖心岛改造而成，各结构单元水流速度较快，生态系统单一，在水环境质量上 HB 水流方向单一水质差异较小，SSD 水流方向易变水质差异明显②；TF 属多塘结构型，为农田、鱼塘改造而成，各结构单元水系较为封闭，有众多缓流区和静水区，在水环境质量上水系较浅、连通较弱、浊度较低，农田退水带来大量的氮、磷等营养物质③；TL 属块状集聚型，为两湖泊湿地交界地带，通过水系、库塘连接，各结构单元对外连接度较强对内连接度较弱，在水环境质量上，下游地区水质较上游差，生态廊道单薄无法实现长期、稳定的生态改良与水质净化④.

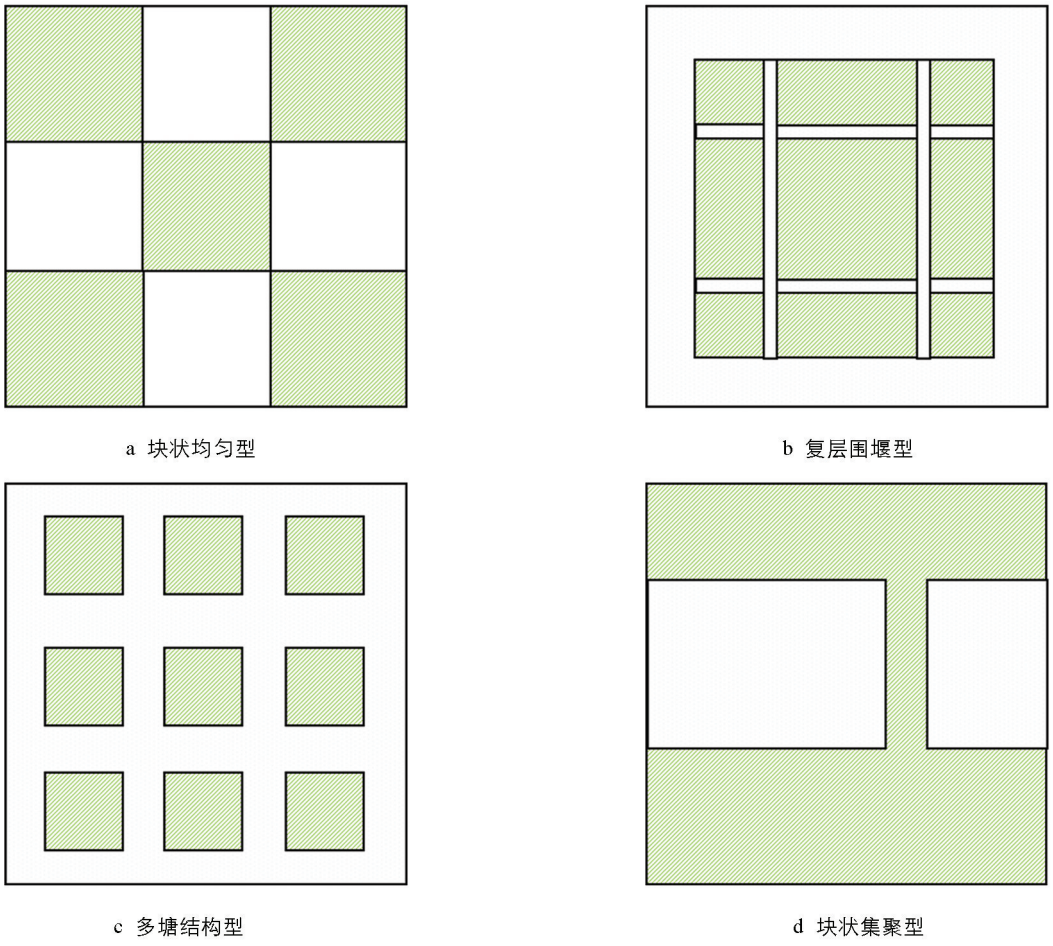


图 4　苏州国家湿地公园空间结构

1.3　研究方法

1.3.1　水质监测

为系统揭示不同功能分区及湿地类型对水环境质量的影响，在分区特征明显处设置 53 个样点进行监测，其中保育区 23 个，恢复重建区 11 个，合理利用区 12 个，宣教展示区 4 个，管理服务区 2 个，社区共管

---

① 苏州市湿地保护管理站. 苏州太湖国家湿地公园分区管理评价. 2017-12.
江苏省森林资源监测中心. 江苏常熟沙家浜国家湿地公园总体规划(2015－2020). 2015-09.

② 苏州市湿地保护管理站. 苏州太湖湖滨国家湿地公园分区管理评价. 2017-02.
江苏省城市交通规划研究中心. 江苏苏州太湖三山岛国家湿地公园总体规划(修编). 2017-03.

③ 江苏省森林资源监测中心. 江苏天福国家湿地公园总体规划(2013－2017). 2013-06.

④ 苏州市湿地保护管理站. 吴江同里国家湿地公园分区管理评价. 2017-12.

区 1 个，监测时利用 GPS 采集样点地理坐标信息(图 5).

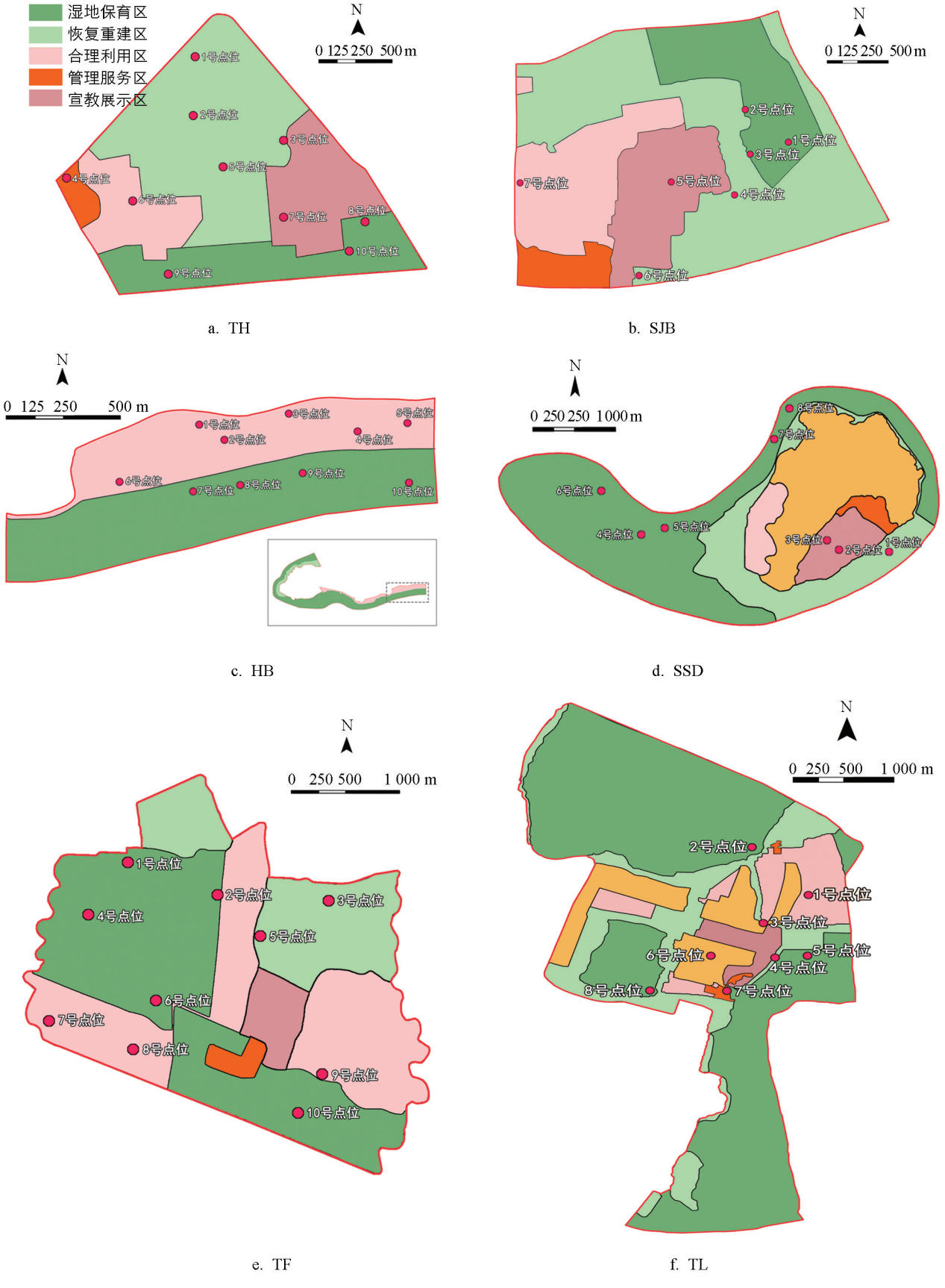


图 5 苏州国家湿地公园功能分区与采样点分布

依据国家环保局最新实施的水体质量评价及《苏州市湿地公园科研监测和湿地宣教指南(试行)》要求，综合考虑数据的完整性和水体污染中起主要作用的关键指标，包括① 营养物指标：TN 和 TP；② 生物学指标：DO(缺 TF)，COD，BOD；③ 环境指标：PH，Cond，TUB，共计 8 项. 依据《地表水和污水监测技术规范(HJ/T91-2002)》，于 2019 年 2 月到 2020 年 1 月期间，每个月对这 8 个指标进行监测和分析. 使用聚乙烯瓶采集湖水表层 50 cm 的水，各点位采集保存方式相同的水样 3 瓶，测定 3 组数据共计 1L 水量，取平行样的平均值作为指标值. DO 和 TUB 采用多参数水质分析仪(YSI-556 和 spectro：：lyser™ UV-Vis)，PH 采用离子选择性探头(ammo：lyser™ Ⅲ eco＋pH)，Cond 采用电导率分析仪(condu：lyser Ⅱ)，TN 采用过硫酸钾氧化—紫外分光光度法，TP 采用钼酸铵分光光度法，COD 采用重铬酸钾法测定，BOD 采用稀释与接种法测定.

1.3.2　水质评价

研究采用内梅罗综合污染指数法，将水环境质量的实测值和《地表水环境质量标准》(GB3838-2002)的标准值进行比较[20]，可以得到单因子指数平均值($\overline{P}$)和最大值($P_{i\max}$)，从而计算得出综合污染指数($P_{综}$)对营养物指标和生物学指标的污染程度进行评价(表 2)；采用极差(R)、标准差(σ)和离散指数(V_s)评价环境指标，年均值和离散指数越小水质越好.

表 2　内梅罗指数的分级范围

等级	1 级	2 级	3 级	4 级	5 级
污染指数	$P_{综}\leqslant 0.7$	$0.7<P_{综}\leqslant 1.0$	$1.0<P_{综}\leqslant 2.0$	$2.0<P_{综}\leqslant 3.0$	$P_{综}>3.0$
污染程度	清洁	较清洁	轻污染	中污染	重污染

2　苏州国家湿地公园水环境质量分析

2.1　营养物指标

2.1.1　总氮(TN)

TH，SJB 和 SSD 水质较好，TL 相对较差；因冬小麦反春后追肥量大，氮肥通过地表径流汇入湿地，故 TH，SJB，HB，SSD 和 TL 在春季水质较差；TF 种植大量经济作物，壮果肥在 6 月中下旬施肥，初夏水质最差. HB 和 SSD 属复层围堰型景观结构，整体拟合度较高，水系连通度好；3，5，10 月指标分层明显，处于农作物反春、播种、收割 3 次追肥时间；TH，TF 和 TL 人为干扰较多，个别指标与整体指标偏差较大(表 3 和图 6).

表 3　TN 指标情况　　mg/L

湿地名称	月均值				年值					水质状态			
	最大值	月份	最小值	月份	最大值	月份	最小值	月份	年均值	$P_{i\max}$	$\overline{P}$	$P_{综}$	污染程度
TH	1.69	3	0.86	9	3.08	2	0.72	9	1.17	0.85	0.78	0.81	较清洁
SJB	1.55	3	0.74	8	1.87	3	0.64	9	1.09	0.78	0.73	0.76	较清洁
HB	2.96	3	0.76	8	4.51	3	0.56	8	1.59	1.48	0.80	1.19	轻污染
SSD	1.64	4	0.66	11	1.98	4	0.55	11	1.10	0.82	0.97	0.90	较清洁
TF	2.68	6	0.57	9	11.42	7	0.45	8	1.45	1.34	0.91	1.15	轻污染
TL	5.11	2	1.37	8	10.07	2	0.79	8	2.47	2.56	1.24	2.01	中污染

2.1.2　总磷(TP)

SSD 和 HB 为开放水系冬季补水少，水位较低水质较差；因氮肥长叶，磷肥开花结果，而磷肥需求小于氮肥，为此 SJB，TL 和 TH 在 4 月与 9 月指标最高，TF 果林较多夏季施肥量占全年总量的 40%左右. SJB，SSD，TF 和 TL 指标拟合度高，但存在梯度分层现象，受当地农作物与经济作物影响较大，乡村性显著具有明显季节性；TH 和 HB 作为城市型湿地公园受景观植物的丰度、分布、花期等因素影响较大(表 4 和图 7).

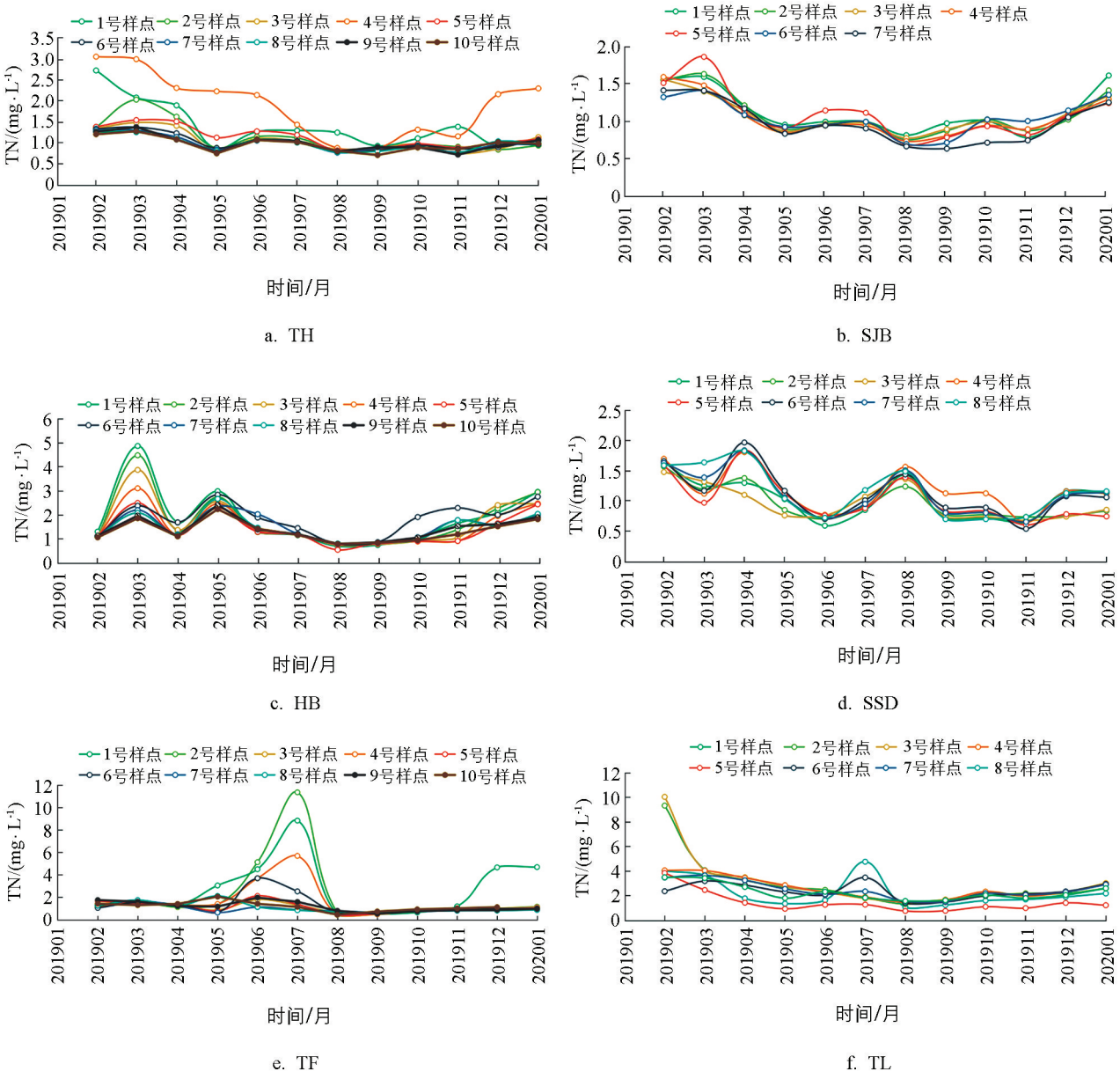


图 6 TN 数据分析

表 4 TP 指标情况 mg/L

湿地名称	月均值				年值					水质状态			
	最大值	月份	最小值	月份	最大值	月份	最小值	月份	年均值	$P_{i\max}$	$\overline{P}$	$P_{综}$	污染程度
TH	0.22	9	0.07	12	0.44	10	0.03	8、12	0.14	0.73	0.70	0.71	较清洁
SJB	0.43	4	0.06	11	0.93	4	0.03	8、11	0.19	1.08	0.95	1.02	轻污染
HB	0.21	1	0.03	8	0.43	6	0.01	8	0.13	0.70	0.65	0.68	清洁
SSD	0.17	1	0.05	3	0.28	1	0.02	3	0.10	0.85	1.00	0.93	较清洁
TF	0.69	6	0.07	2	0.12	6	0.01	11	0.21	1.73	1.00	1.41	轻污染
TL	0.29	4	0.07	2	0.56	4	0.03	2、3	0.14	0.97	0.70	0.85	较清洁

2.2 生物学指标

2.2.1 溶解氧(DO)

HB 溶解氧较高，指标较好，SJB 相对较差；因温度越低氧气溶解度越高，故冬季 2 月指标最好，而 SJB 和 TL 水生植物丰富 7～9 月为生长期，通过植物光合作用向水中释放大量氧气，指标显著提升；HB

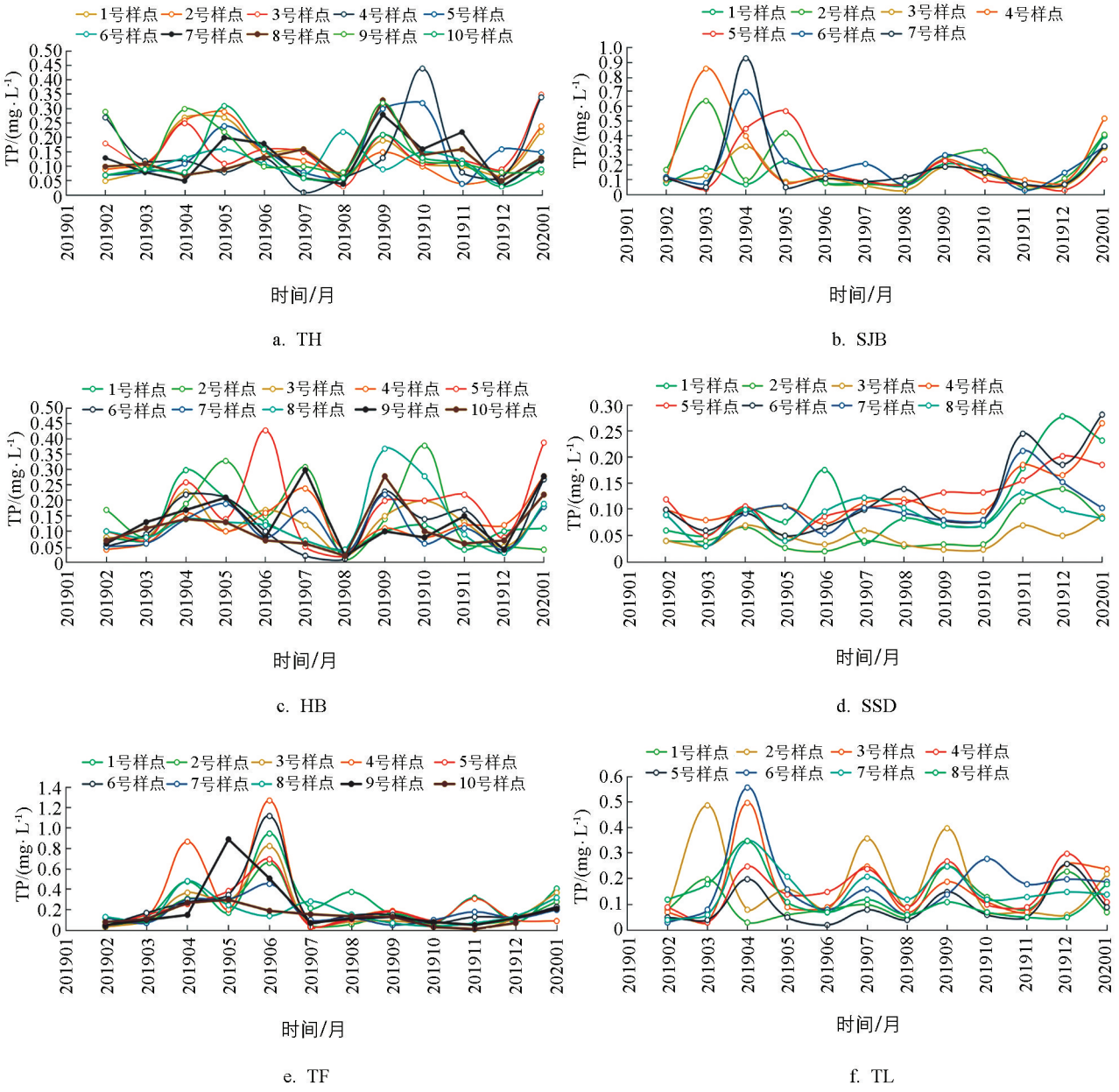


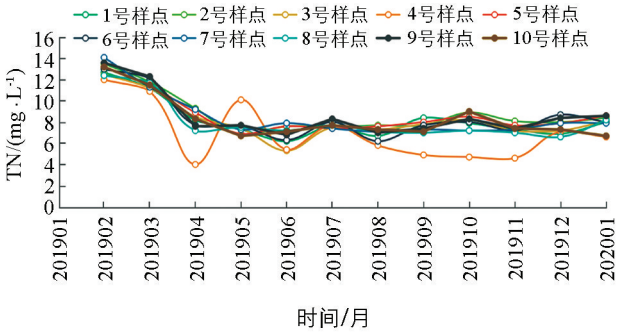
图 7　TP 数据分析

处于太湖消落带湖水交换速度快，溶解氧会被迅速稀释，为此指标变化不明显. TH，SSD 和 HB 指标拟合度较高，水环境整体性较好、连通度较高，水生植物生长分布较为均衡；SJB 周边生态本底整体生长周期一致，TL 生态本底相差较大(表 5 和图 8).

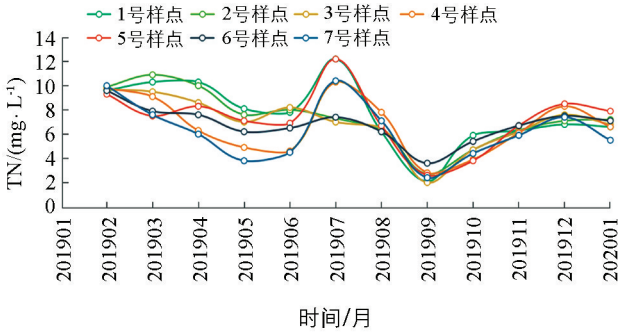
表 5　DO 指标情况　　mg/L

湿地名称	月均值				年值					水质状态			
	最大值	月份	最小值	月份	最大值	月份	最小值	月份	年均值	$P_{i\max}$	$\overline{P}$	$P_{综}$	污染程度
TH	13.12	2	6.84	6	14.20	2	4.10	4	8.36	1.75	1.11	1.46	轻污染
SJB	9.80	2	2.70	9	12.30	7	2.10	9	7.11	1.31	1.19	1.25	轻污染
HB	13.02	2	7.14	8	13.40	2	4.30	9	8.92	1.74	1.19	1.49	轻污染
SSD	11.50	2	4.75	8	12.21	2	3.22	8	8.73	1.53	1.29	1.42	轻污染
TF	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
TL	11.73	2	4.93	9	15.00	8	2.90	7	8.03	1.56	1.07	1.34	轻污染

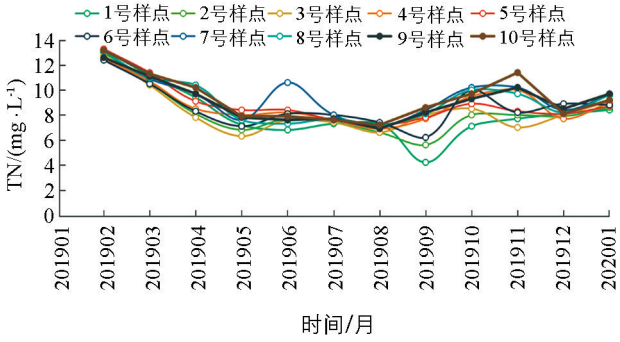
注：/表示未测.



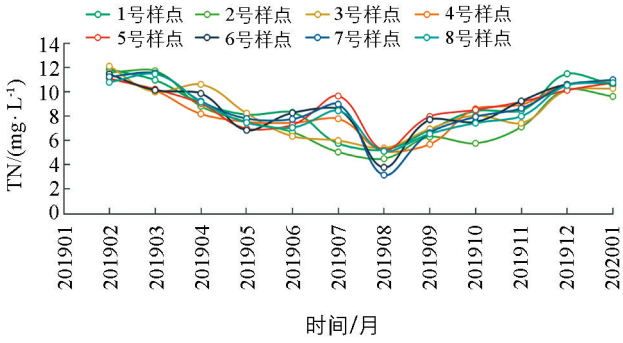
a. TH



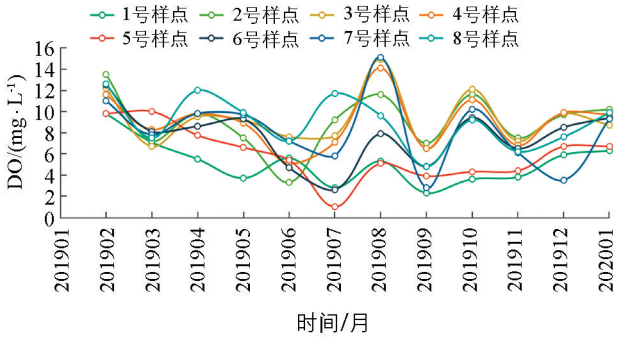
b. SJB



c. HB



d. SSD



e. TL

图 8 DO 数据分析

2.2.2 化学、生物需氧量

HB 和 SSD 化学需氧量指标相对较好，TL 相对较差；TH 和 HB 生物需氧量指标相对较好，SSD 指标相对较差；因气温低、降水少，水体底泥中的微生物不活跃，分解有机物能力较弱得不到扩散和稀释，故秋季指标较差，春季指标较好；其次沉水植物相较于浮游植物和挺水植物有着巨大的生物量，在沉水植物分布区内，COD 和 BOD 含量都远低于无沉水植物的分布区(表 6—表 7、图 9—图 10).

表 6 COD 指标情况

mg/L

湿地名称	月均值				年值					水质状态			
	最大值	月份	最小值	月份	最大值	月份	最小值	月份	年均值	$P_{i\max}$	$\overline{P}$	$P_{综}$	污染程度
TH	53.65	10	14.77	6	55.93	10	12.97	2	26.69	1.34	0.89	1.14	轻污染
SJB	49.71	10	15.55	4	59.26	11	13.49	4	29.19	1.24	0.97	1.11	轻污染
HB	46.06	10	9.67	4	47.02	10	8.87	4	22.73	1.15	0.76	0.97	较清洁
SSD	12.07	3	3.08	5	15.00	3	2.97	5	7.37	0.80	0.48	0.66	较清洁
TF	49.50	10	13.62	4	55.06	6	10.66	5	28.71	1.24	0.97	1.11	轻污染
TL	66.12	11	17.48	4	105.58	11	11.15	3	33.90	1.65	0.85	1.31	轻污染

表 7　BOD 指标情况　　mg/L

湿地名称	月均值				年值					水质状态			
	最大值	月份	最小值	月份	最大值	月份	最小值	月份	年均值	$P_{i\max}$	$\overline{P}$	$P_{综}$	污染程度
TH	22.17	10	5.04	4	24.36	10	3.65	4	9.77	1.55	0.88	1.26	轻污染
SJB	26.52	10	7.69	3	28.05	10	5.80	3	13.95	1.86	0.98	1.49	轻污染
HB	23.31	10	6.20	4	23.90	10	5.28	2	11.08	1.63	0.78	1.28	轻污染
SSD	33.25	12	6.01	3	47.76	11	5.24	3	20.91	2.33	1.44	1.94	轻污染
TF	25.51	10	7.51	3	38.06	6	6.41	2	14.39	1.79	1.02	1.46	轻污染
TL	25.48	10	6.51	3	30.52	10	5.47	3	12.92	1.78	0.92	1.42	轻污染

注：BOD^5 转化率计为 70%.

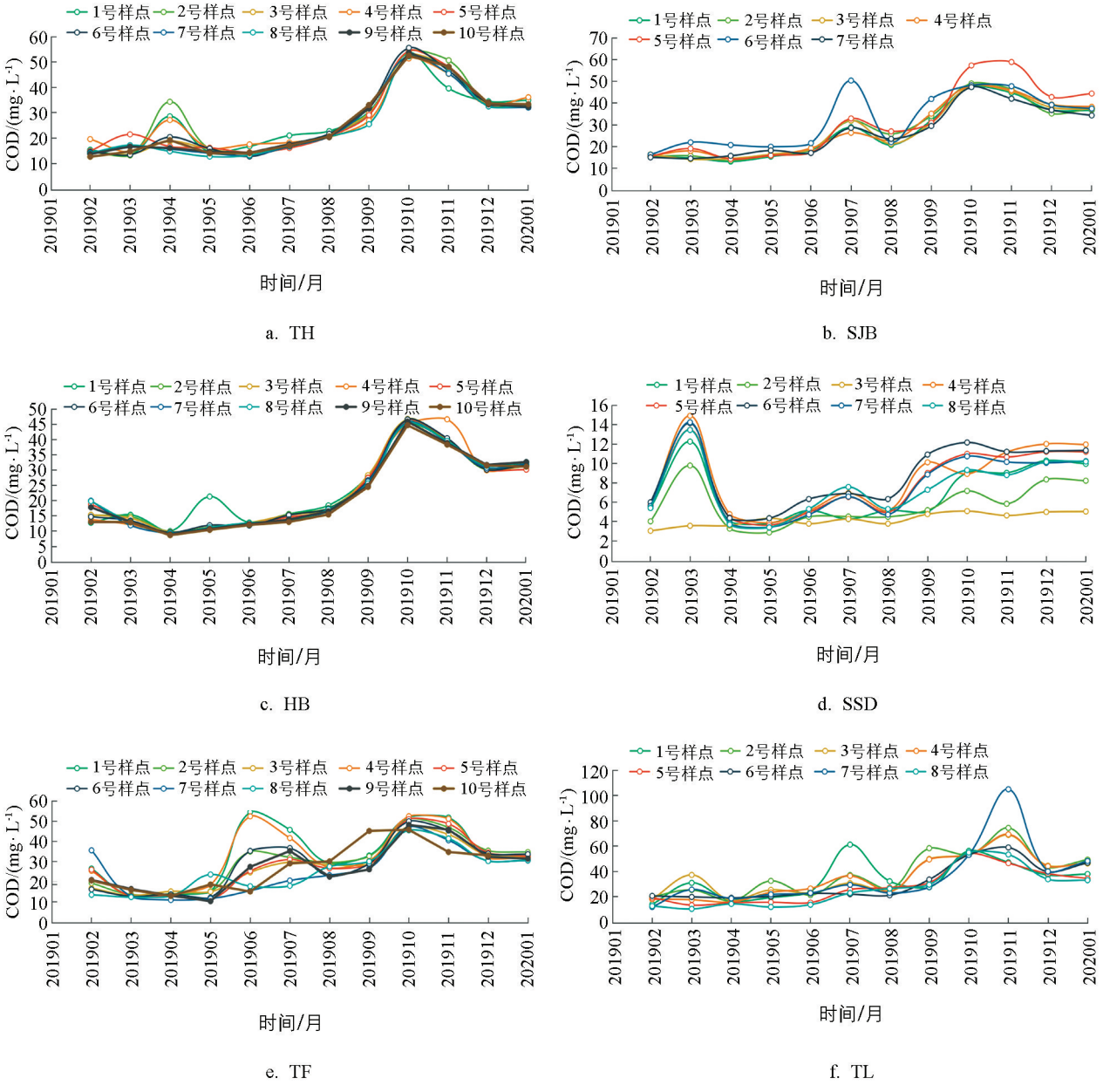


图 9　COD 数据分析

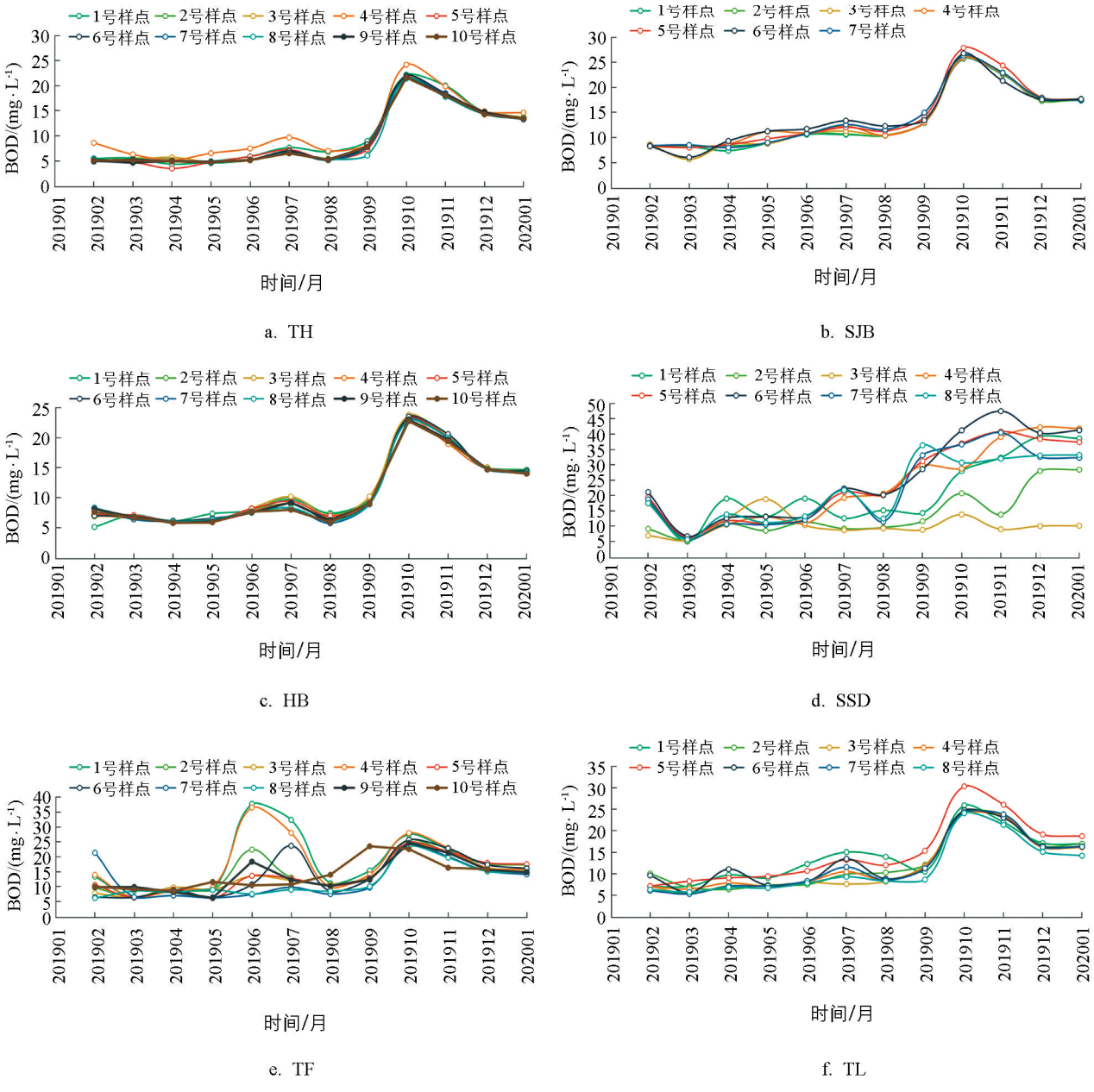


图 10 BOD 数据分析

2.3 环境指标

2.3.1 酸碱度(pH)

TH,SJB,HB,SSD,TF 和 TL 的 pH 年均值在 6.5～8.0 之间，满足《生活饮用水卫生标准》(GB5749-2006). SJB 和 TL 在春季大量磷肥用于农作物播种，磷肥属碱性为强碱弱酸盐；夏季雨量大且呈酸性，碱化度下降，故 TH,SJB,HB,TF 和 TL 水质酸性指标上升；SSD 夏季水质变碱是因为岛屿岩石、土壤中的碳酸钙物质受季风和暴雨的冲刷，分解成为生石灰在水的作用下再变成熟石灰并溶于水，加剧了水体的碱化(表 8 和图 11).

表 8　pH 指标情况

湿地名称	月均值				年值					水质状态		
	最大值	月份	最小值	月份	最大值	月份	最小值	月份	年均值	R	σ	V_s
TH	8.25	9	7.69	7	8.43	3	7.37	6	7.98	1.06	0.17	0.02
SJB	7.86	3	7.37	10	8.25	3	7.18	6	7.61	1.07	0.17	0.02
HB	7.90	6	7.32	7	8.35	6	5.72	11	7.65	2.63	0.17	0.02
SSD	7.64	12	7.00	8	8.14	7	6.69	7	7.44	1.46	0.17	0.02
TF	7.97	3	7.39	9	8.46	12	7.13	7	7.66	1.33	0.17	0.02
TL	8.44	10	7.42	7	8.90	9	6.73	7	7.96	2.17	0.30	0.04

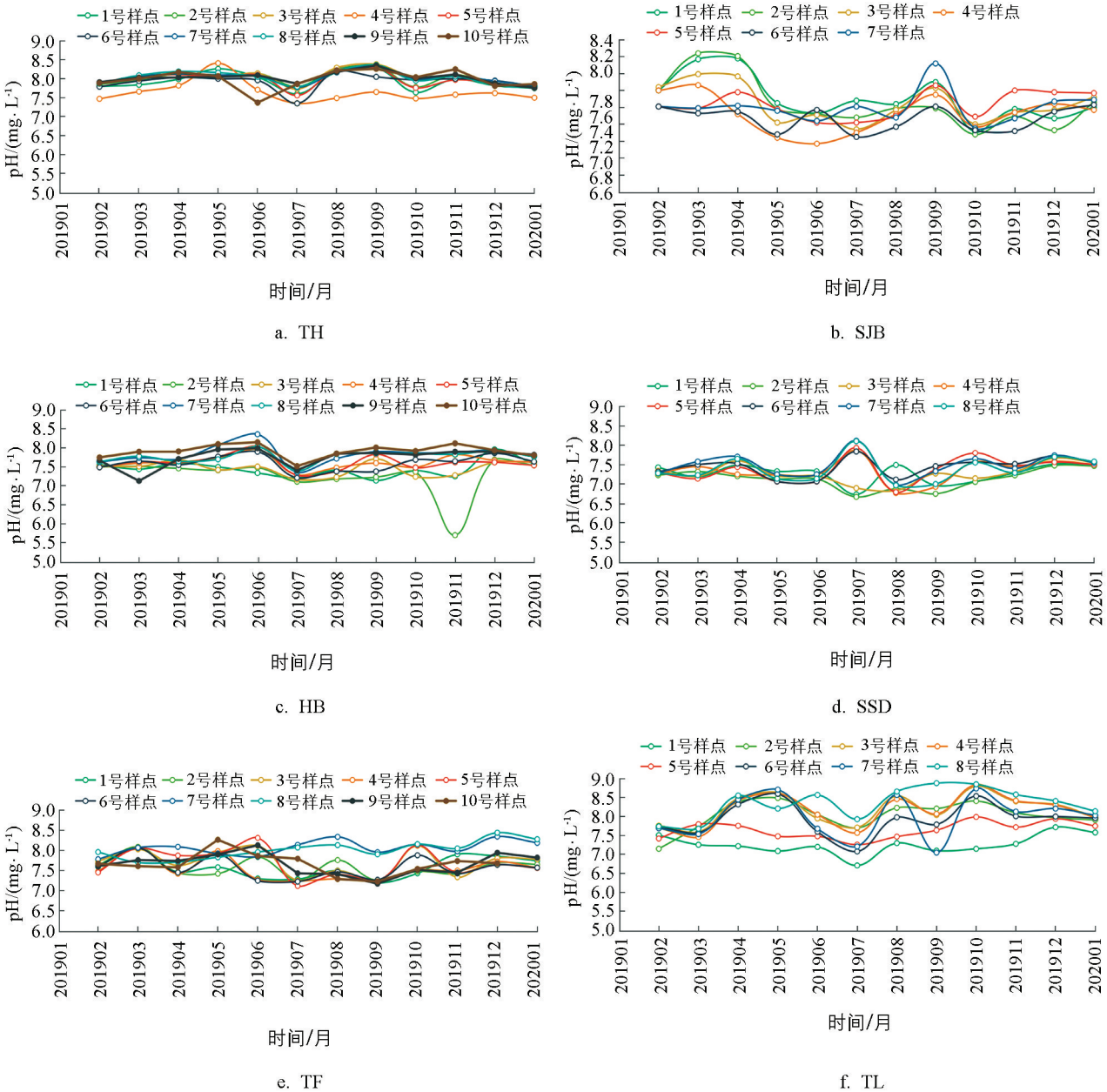


图 11　pH 数据分析

2.3.2　电导率(Cond)

水的电导率与所含电解质的量存在一定关联性，在一定浓度范围内离子的浓度越大，所带的电荷越多. TL 和 TF 电导率年均值较高所含盐成分、离子成分、含杂质成分等较多，极差和标准差较大季候性明

显；春季农业面源污染和冬季枯水期使得 TN 和 TP 指标上升造成水体藻类繁殖迅速电导率变大，夏季雨季水位较高，水中微量元素被稀释，秋季水温、TN 和 TP 指标同时下降，各湿地公园电导率整体呈下降趋势(表 9 和图 12).

表 9 Cond 指标情况

μs/cm

湿地名称	月均值				年值					水质状态		
	最大值	月份	最小值	月份	最大值	月份	最小值	月份	年均值	R	σ	V_s
TH	643	6	424	9	952	6	414	9	473	538	54.88	0.12
SJB	486	6	430	8	670	11	415	9	462	255	17.80	0.04
HB	570	5	388	2	603	5	229	2	454	374	60.61	0.13
SSD	448	5、6	297	9	457	6	252	9	391	205	47.93	0.12
TF	671	4	339	8	827	4	211	8	521	616	95.62	0.18
TL	745	6	520	9	1143	6	352	2	628	791	70.35	0.11

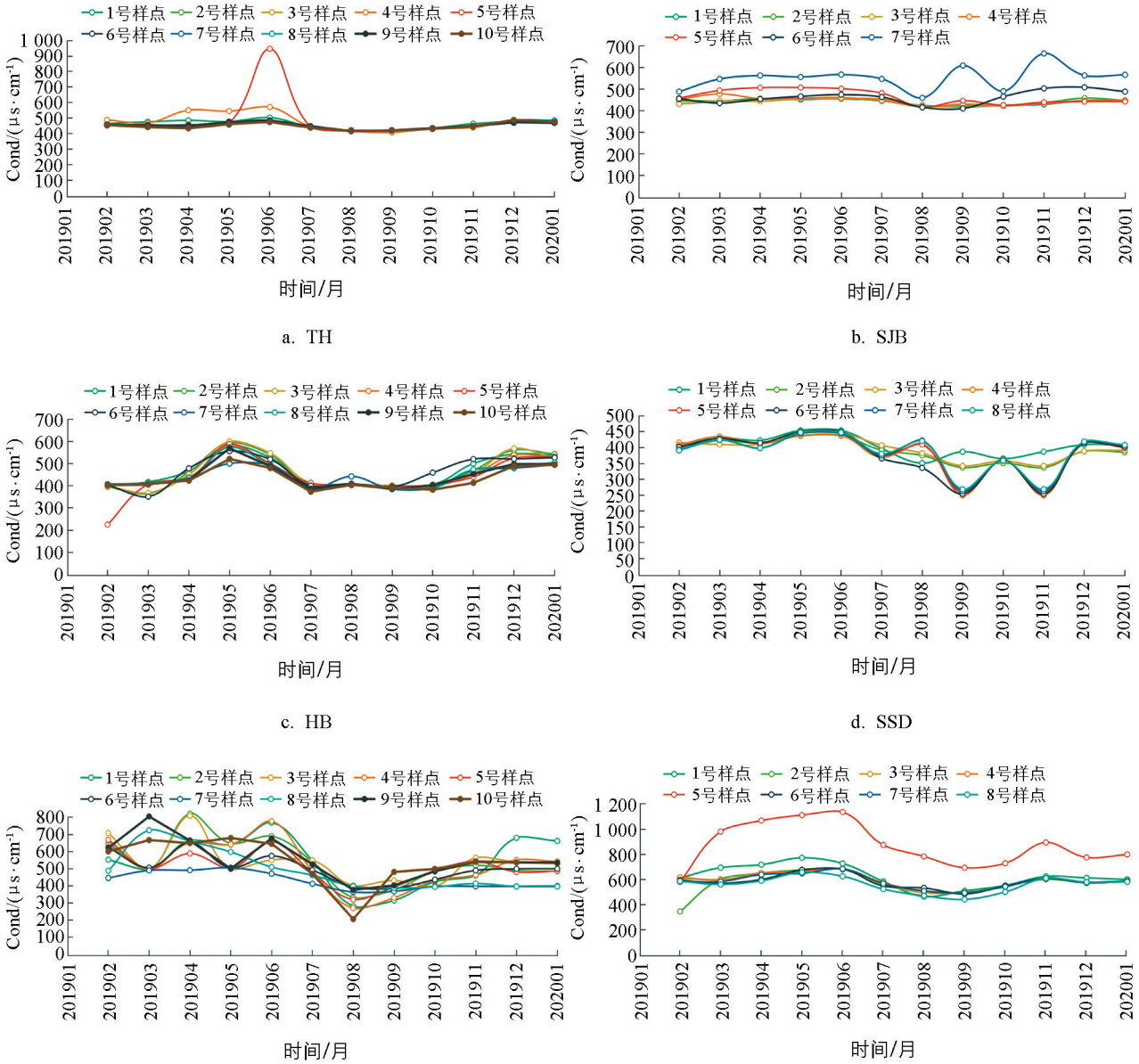


图 12 Cond 数据分析

2.3.3　浊度(TUB)

SSD 湖面风浪较大浊度较高，HB 浊度较低但离散系数最大为 0.60；浊度曲线自 3,4 月逐月上升，于 9,10 月份达到峰值与空气环境质量呈正相关，空气中的粉尘颗粒在一定程度上对水的浊度造成影响；枯水期水位下降，经过春季繁殖鱼类等水生动物处于成熟期，生物排泄同样会造成浊度上升；TL，SSD 和 SJB 湿地类型复杂、功能分区细化、交互程度明显，为此水体交换路径相对较长，除浊能力明显(表 10 和图 13).

表 10　TUB 指标情况　　mg/L

湿地	月均值				年值					水质状态		
名称	最大值	月份	最小值	月份	最大值	月份	最小值	月份	年均值	R	σ	V_s
TH	33.54	4	11.5	6	72.69	4	8.37	3	19.28	64.30	8.10	0.42
SJB	38.59	7	7.08	4	72.26	7	4.84	6	17.02	67.42	8.65	0.51
HB	26.93	9	3.14	4	30.55	9	2.25	4	10.72	28.30	6.47	0.60
SSD	96.38	8	37.16	3	163.80	8	11.34	5	58.27	152.46	19.28	0.34
TF	21.90	10	4.79	4	34.31	11	3.34	4	14.26	30.97	5.29	0.36
TL	48.69	11	12.27	2	89.43	7	4.94	6	25.70	84.49	8.95	0.40

3　苏州国家湿地公园功能区优化策略

3.1　块状均匀型湿地公园

TH 和 SJB 作为退渔还湿的湿地公园，水系深度较浅、内源残留污染较多，不同程度地受无机悬浮颗粒物(泥沙、底泥等)与有机颗粒物(植物枯枝凋落物，藻类残体，农田有机物等)影响. 湿地保育区应适当恢复沉水植被群落，通过定期收割挺水植物，减少陆源有机物向湿地水体中的输入. 恢复重建区应通过生态清淤、生态滤岛，降解污染物质，构筑堤坝引导水流，构建植被缓冲和渗滤带. 合理利用区应将原宣教展示区、合理利用区和管理服务区合并，尽量避免与保育区在空间上直接相联系，划定重点干扰区、确定污染源，通过变更原有功能类型，结合设施景点周边加强生态防护措施，最大化降低对水环境造成的非自然破坏.

3.2　复层围堰型湿地公园

HB 和 SSD 作为太湖消落带和湖心岛湿地公园，内源干扰少、水质较好，但湿地补水过快，指标离散度较小，水质浊度较大，且易将外源污染带入. 湿地保育区水流补水速度较快，应设置驳岸、浮岛等生态复层围堰，既减缓了水流补水速度，防止外源污染的浸入，又减弱了水浪冲刷水岸导致生态系统结构受损和底泥再悬浮. 此外，应营造浅滩、草本沼泽等较大面积的开阔水域，吸引野生动物来栖居. 恢复重建区需沿岸线设置生态防浪护坡，缩减与湖岸的缓冲距离，在不降低湿地率的前提下提高保护等级，减少对保育区生态环境和鸟类栖息地的破坏，通过湖底清淤构筑多生境岛屿，种植挺水植物和湿生树木，使湖滨带与湖泊水体形成完整的生态系统.

3.3　多塘结构型湿地公园

TF 作为以水稻田为主的人工湿地公园，受到面源污染影响较大. 湿地保育区有众多缓流区和静水区，农田退水带来大量氮、磷等营养物质，因此应疏通水系增加连通性，构建水体循环处理系统，种植湿生树种还原自然生态群落，构建生态拦截和净化植被带. 恢复重建区应采取低干扰的管理维护方式，通过铺设人工生态垫和农业退水循环措施，增强湿地去污、净化能力；将稳定性差的坡岸改造成块石护岸；引入本土水生植被，人工干预促进植被恢复，从而增强面源污染的阻截能力. 合理利用区应将原合理利用区、宣

教展示区和社区共管区功能复合叠置，实现多种扰动因素在功能、空间两方面的融合，减缓对湿地生物多样性的破坏，保护系统的功能完整.

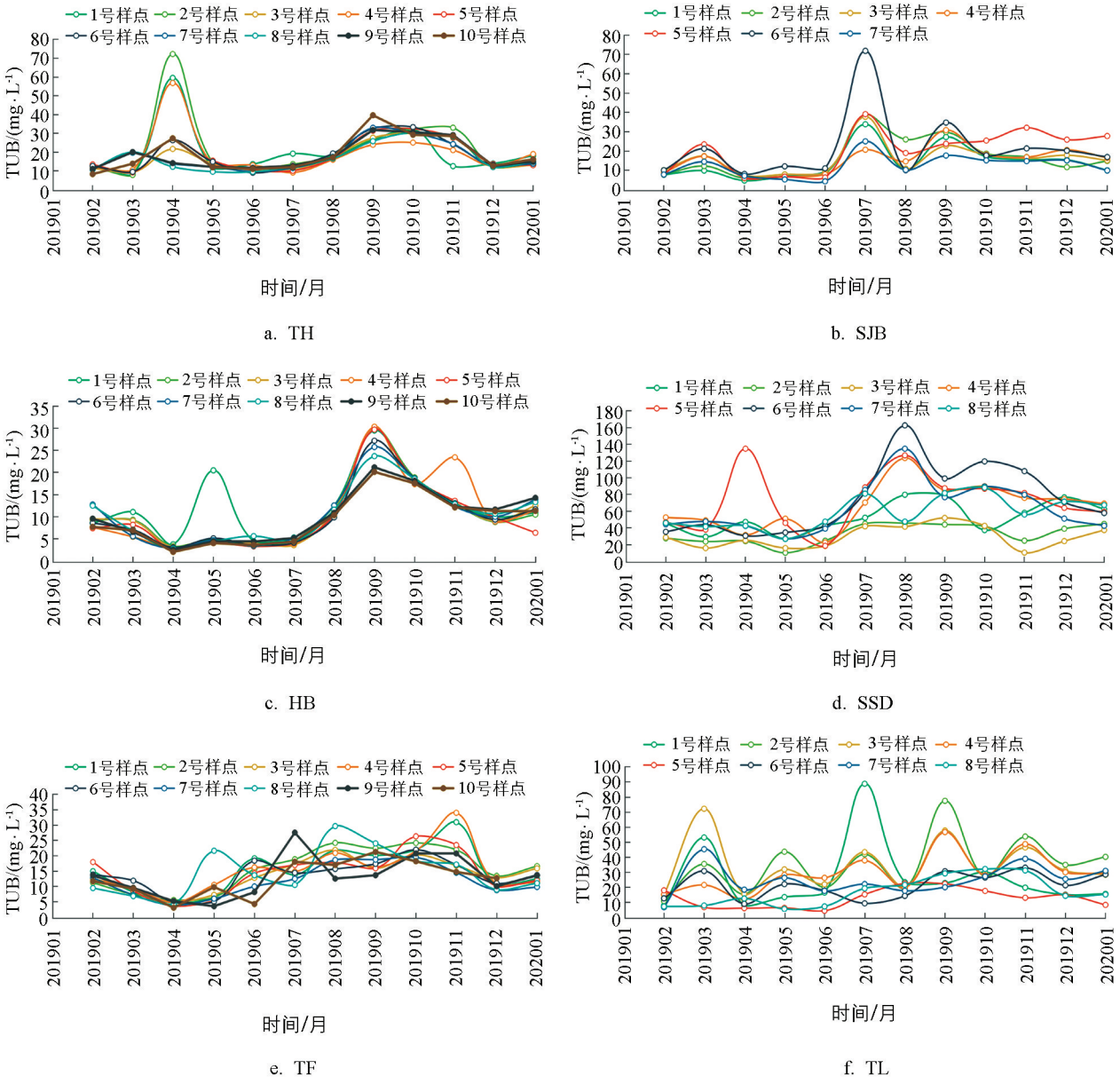


图 13 TUB 数据分析

3.4 块状集聚型湿地公园

TL 作为湖荡湿地公园，是森林、草本、沼泽和河流等多种湿地类型组成的复合生态系统. 湿地保育区分为 4 块，经河流水系、库塘连接，受多种外在干扰，生态廊道单薄，需加强保育区功能的整体性，适当改造地形加强保育廊道构建，建立完备的生态系统. 恢复重建区面积过小，受旅游、生活、农业扰动因素影响无法实现长期、稳定的生态改良与水质净化，可适当扩展生态缓冲带、恢复沉水植被群落、集中干扰源，增强区域截污和控污能力. 合理利用区受到面源污染影响，应实施生态农业规划，新规范规定区域及其湿地面积应控制在湿地公园总面积和湿地总面积的 20%内，应将水环境质量较好区域调整为恢复重建区和保育区.

4 结　论

总结苏州国家湿地公园各功能区水环境质量可知，湿地保育区总体水质较好，实现生态保育的设置初衷，但仍面临内外源干扰较多、湿地生境较为单一、湿地保有量不充分等问题；恢复重建区因生态景观较为脆弱，应采取设置缓冲区、明确干扰区、控制污染源等措施；合理利用区人为干扰因素最多，需要有效控制污染物、适当减少区域面积、实现空间集约化布置. 对不同景观结构特征湿地公园研究发现，位于农业生产区附近的湿地公园如 TF 和 TL 等，建议湿地公园在农田退水排放期间尽量减少湿地补水，从而减轻农田退水对湿地生态系统的压力；位于太湖湖面的湿地公园如 HB 和 SSD 等，建议通过设置生态复层围堰等措施进一步减少藻类从大湖进入湿地范围，降低藻类腐烂后的碳、磷等元素及藻类毒素释放对湿地水质的影响.

参考文献：

[1] 贾慧慧，王俊坚，高　梅，等. 湿地水环境质量时空分异的影响因子 [J]. 生态学杂志，2011，30(7)：1551-1557.

[2] ROTHWELL J J，DISE N B，TAYLOR K G，et al. A Spatial and Seasonal Assessment of River Water Chemistry across North West England [J]. Science of the Total Environment，2010，408(4)：841-855.

[3] CHANG H. Spatial Analysis of Water Quality Trends in the Han River Basin，South Korea [J]. Water Research，2008，42(13)：3285-3304.

[4] FROST P C，LARSON J H，JOHNSTON C A，et al. Landscape Predictors of Stream Dissolved Organic Matter Concentration and Physicochemistry in a Lake Superior River Watershed [J]. Aquatic Sciences，2006，68(1)：40-51.

[5] 郝敬锋，刘红玉，胡俊纳，等. 南京东郊城市湿地水质多尺度空间分异 [J]. 应用生态学报，2010，21(7)：1799-1804.

[6] 陈　锋，王明书. 四川雄龙西湿地自然保护区藻类植物多样性研究 [J]. 西南师范大学学报(自然科学版)，2018，43(6)：88-92.

[7] 唐源英，王海洋. 汇水区土地利用方式对水库水质的影响 [J]. 西南大学学报(自然科学版)，2017，39(11)：134-141.

[8] 李武陵. 旅游干扰对鄱阳湖国家湿地公园土壤酶活性及水质的影响 [J]. 水土保持研究，2015，22(3)：61-66.

[9] 方　娜，刘玲玲，游清徽，等. 不同尺度土地利用方式对鄱阳湖湿地水质的影响 [J]. 环境科学，2019，40(12)：5348-5357.

[10] 岳　隽，王仰麟，李贵才，等. 不同尺度景观空间分异特征对水体质量的影响——以深圳市西丽水库流域为例 [J]. 生态学报，2007，27(12)：5271-5281.

[11] 袁旸洋，朱辰昊，成玉宁. 城市湖泊景观水体形态定量研究 [J]. 风景园林，2018，25(8)：80-85.

[12] 吴宜洁，林浩文，王志勇. 宜昌运河公园多塘型城市绿地水质水量调控效果及运行研究 [J]. 生态学报，2019，39(16)：5978-5987.

[13] 李玉凤，刘红玉，曹　晓，等. 西溪国家湿地公园水质时空分异特征研究 [J]. 环境科学，2010，31(9)：2036-2041.

[14] 郑　囡. 西溪国家湿地公园多功能区景观特征及其水环境质量研究 [D]. 南京：南京师范大学，2011.

[15] SCHLEYER M H，CELLIERS L. Modelling Reef Zonation in the Greater St Lucia Wetland Park，South Africa [J]. Estuarine，Coastal and Shelf Science，2005，63(3)：373-384.

[16] GERETA E，MWANGOMO E，WOLANSKI E. The Influence of Wetlands in Regulating Water Quality in the Seronera River，Serengeti National Park，Tanzania [J]. Wetlands Ecology and Management，2004，12(4)：301-307.

[17] 陈芳清，Jean Marie Hartman. 退化湿地生态系统的生态恢复与管理——以美国 Hackensack 湿地保护区为例 [J]. 自然资源学报，2004，19(2)：217-223.

[18] PERROW M R，DAVY A J. Handbook of Ecological Restoration [M]. Cambridge：Cambridge University Press，2002.

[19] 江苏太湖湿地生态系统国家定位观测研究站. 2019苏州市湿地保护情况年报[R]. 苏州：苏州市园林和绿化管理局，2020.

[20] 国家环境保护总局，国家质量监督检验检疫总局. 地表水环境质量标准：GB 3838-2002[S]. 北京：中国环境科学出版社，2002.

Investigation of Water Environment Quality and Optimization of Function Areas of Wetland Parks

——Case in Six National Wetland Parks in Suzhou

CHENG Shan-shan[1], ZHU Ying[1], GONG Ya-xi[2], FENG Yu-qing[3]

1. *School of Architecture and Urban Planning, Suzhou University of Science and Technology, Suzhou Jiangsu 215011, China;*
2. *School of Mechanics and Civil Engineering, China University of Mining and Technology, Xuzhou Jiangsu 221116, China;*
3. *Suzhou Wetland Conservation and Management Station, Suzhou Jiangsu 215131, China*

Abstract: Wetland park, as an important model of regional water environment protection and wetland ecosystem protection, plays an important role in regulating climate, conserving water resources, supplying groundwater and maintaining biodiversity. In order to provide reasonable optimization suggestions and scientific reference for the revision work for the protection of wetland ecosystem in Taihu Lake Basin after the promulgation of the new Environmental Quality Standard for Surface Water, a study was conducted, in which the water environment quality of six national wetland parks in Suzhou was monitored in different areas. Fifty-three sampling points were set up to collect the water environment indicators from February 2019 to January 2020. Nemero index and discrete index were used to evaluate the nutrient index, biological index and environmental index of the local wetland water environment, the impacts of different forms, functions and spatial characteristics on the water environment quality were compared, and a zoning optimization strategy for wetland parks with four different structures, namely block uniform, multi-layer cofferdam, multi-pond structure and block aggregation, was recommended.

Key words: Suzhou; national wetland park; water environment quality; functional area

责任编辑 潘春燕