



全国中文核心期刊
中国科技核心期刊

环境工程学报

Chinese Journal of Environmental Engineering



第9卷 第9期

Vol.9 No.9

中国科学院
生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版

9
2015

目次

水污染防治

紫外线消毒对3种大肠杆菌的灭活效果和耐药性影响	张崇森	庄凯	巨欣	王晓昌(4097)
强化除磷型 A/O-MBR 工艺运行稳定性	任金柱	李军	王朝朝	刘彬 高金华 常江(4102)
超声波紫外线一体化推流式反应器中试装置用于污水消毒				
.....	郭浩	周瑱	周晓琴	李子富 闫圆圆 靳昕(4107)
Ca ²⁺ 强化短程硝化颗粒污泥培养	吕永涛	贾燕妮	鞠恺	赵洁 苗瑞 王磊(4112)
猪场废水厌氧自电解处理过程中关键参数优化	王云	朱能武	沈伟航	李小虎 吴平霄(4117)
碳纳米管稳定纳米 Fe ₃ O ₄ 的制备及降解染料橙 II		邓景衡	李佳喜	余侃萍 谢建国(4125)
湿式过氧化氢氧化活性艳蓝 KN-R	贺玲	刘红玉	杨春平	彭艳蓉 曾光明 王鹏 刘芬(4131)
草皮缓冲带对洱海流域面源污染的削减效果			胡威	王毅力 储昭升(4138)
共培养条件下黄菖蒲和狭叶香蒲对铜绿微囊藻光合系统的影响	陈国元	李青松	谢莆尧	陈燕虹(4145)
Fenton 试剂协同 TiO ₂ 光催化降解三氯乙酸及协同机理	王芬	赵宝秀	李想	李伟江 杨龙(4153)
城市大型缓流景观水体流场模拟及人工循环水动力优化		贾泽宇	郑剑锋	孙力平 于静洁(4159)
短程硝化反硝化工艺处理低 C/N 餐厨废水	张周	赵明星	阮文权	缪恒锋 任洪艳 黄振兴(4165)
改性天然菱铁矿去除水中六价铬			周晓倩	郭华明 赵凯(4171)
2 种载体对厌氧同步消化、反硝化的影响	冉春秋	邹学军	范立明	崔玉波 周集体(4178)
基于有效去除铅(II)的中孔炭乙二胺改性与影响因素分析				
.....	杨美蓉	李坤权	徐恩兵	乔小朵 潘根兴 郑正(4185)
城市污水处理过程中不同形态氮类营养物的转化特性			金鹏康	宋利 任武昂(4193)
曝气对潜流人工湿地中木本植物的影响	陈永华	吴晓芙	纪智慧	马群 陈明利(4199)
变权组合模型在景观水体水质模拟中的应用			赵加斌	赵新华 彭森(4206)
鱼菜共生系统氮素迁移转化的研究与优化		邹艺娜	胡振	张建 谢慧君 梁爽(4211)
基于虚拟治理成本法的生态环境损害量化评估	蔡锋	陈刚才	彭枫	杨清玲 赵士波 鲜思淑 吴飞(4217)
漂浮型可见光催化剂 Fe-N-TiO ₂ /FP-CTS 的制备及其对溶解性柴油的降解				
.....	黄嘉瑜	王学江	卜云洁	张晶 马荣荣 赵建夫(4223)
非晶态 Co _{0.5} Ni _{0.5} Fe ₂ O ₄ 的制备及对水中五氯苯酚的吸附		孙梦圆	崔春月	吴娟 宋姿蓉(4228)
pH 对同步硝化反硝化生物膜内溶解氧分布的影响			黄胜娟	荣宏伟 林孟霞(4233)
稻壳制备介孔状二氧化硅的光催化性			穆浩荣	张玲玲 白淑琴(4239)
玉米秆碳源去除地下水硝酸盐		李同燕	李文奇	胡伟武 冯传平(4245)
提高低 C/N 值农村生活污水中 TN 的去除效果	匡武	王翔宇	周其胤	杨远盛(4252)
油田聚驱采出液乳化特性及其破乳-絮凝	翁艺斌	阎光绪	李敏	翟星月 郭绍辉 张佩佩(4259)
西安某人工湖水质时空分布特征及其荧光特性		于佳真	王晓昌	薛涛 陈荣(4265)
改性钙基蒙脱土酸性条件下吸附油酸钠	任瑞晨	张乾伟	石倩倩	李彩霞 王秀兰 孟媛媛(4273)
天然沸石对海水中氨氮的吸附特性	王文华	赵瑾	张晓青	成玉 王静 张雨山 李陆杨(4281)
微孔曝气器脉冲式充氧效果	徐鹏	单继宏	金晓航	于江忠 孙毅 张建中(4287)
厌氧、好氧、厌氧/好氧交替状态对活性污泥性质的影响		杨波	单晓明	田晴 李方 马春燕(4293)
城市人工湖的生态治理		徐后涛	赵凤斌	张玮 王丽卿 郑小燕(4300)
载钴催化剂的制备及对染料降解	李洁冰	李玉龙	Asif Hussain	王瑾 李登新(4309)
低温季大型表流湿地对微污染水体脱氮效果及优化运行				
.....	左倬	仓基俊	朱雪诞	成必新 胡伟 商志清 卿杰(4314)
沸石负载高锰酸钾去除低浓度氨氮		郭华	王军林	张小燕 王娜 刘俊良(4321)
2-乙基蒽醌修饰石墨毡催化电极电化学降解土霉素废水二级出水				
.....	李贵霞	岳琳	潘贵芳	刘艳芳 李伟 李再兴(4326)
抗菌剂三氯卡班在水溶液中的光降解		冯振涛	刘海津	汪应灵 冯家豪(4333)
磁性水滑石快速吸附水体中 Cu(II) 离子	张琪	罗琳	张嘉超	刘武嫦 胡伟斌(4339)
零价铁对水中六价铬还原性能及沉淀污泥中铬的固定化	陈忠林	李金春子	沈吉敏	王斌远 樊磊涛(4345)
椰壳活性炭对水中 N-DBP 前体物的吸附			张一凡	金腊华 周元(4353)

混凝和活性炭吸附深度处理制药废水中有机物去除特征	崔凤国	杨 鹏	张伟军	王东升(4359)
Fenton 试剂氧化处理火炸药污染土壤淋洗液	薛江鹏	王建中	赵泉林	王中友(4365)
微波法对吸附扑热息痛废水活性炭的再生	吴 坚	夏洪应	彭金辉	张利波(4371)
ES 稳定重金属污染底泥效果	蒋玉广	袁珊珊	杨 伟	梁静波(4376)
<i>Halothiobacillus neapolitanus</i> 脱硫性能及限制性因素影响			冯守帅	陈金才(4385)
曝气速率对附加微通道湍流促进器 SMBR 流体动力学性能的影响			解 芳	王建敏(4391)
H_2O_2/Fe^0 、 H_2O_2/Fe^{2+} 、 H_2O_2/Fe^{3+} 3 种体系处理印染废水			姚 兴	颜幼平(4398)
以游泳馆污水为处理对象的 SBR 中不同污泥负荷下氨氧化菌群落的演变				
.....	薛士琼	孙宝盛	于凤庆	王明圆(4403)
环糊精改性蛭石对水中 Cr(VI) 的吸附	张太亮	吴 凤	阳 萍	欧阳铖(4409)
滤材的表面改性对淤泥脱水过程中渗透性能的影响	浩 婷	王 曦	周 颜	吴 燕(4415)
不同混凝剂处理低温低浊水			洪 云	徐 慧(4421)
SMBBR 工艺不同填料处理生活污水	李卫平	李 杰	朱浩君	杨文焕(4427)
			敬双怡	殷震育(4427)

大气污染防治

煤矿井下高压喷雾雾化特性研究	王鹏飞	刘荣华	汤 梦	张 文	桂 哲(4433)
露天堆场防风抑尘网遮蔽效果的数值模拟			潘武轩	宋翀芳	何鸿展(4440)
TEPA/TETA 改性 SBA-15 对 CO_2 吸附性能的影响			魏建文	和凯凯	孟令硕(4447)
改性粉煤灰基吸附剂烟气脱汞	郑慧敏	刘清才	王 铸	孟 飞	牛德良(4453)
改性 Fe_2O_3 脱硫剂脱除 H_2S 反应特性	沈洪波	张 辉	刘应书	李皓琰	张 贺(4458)
一株鱼粉加工硫化氢恶臭气体脱除菌株的分离与鉴定			孙佩璇	姜永江	庄荣玉(4465)
北京市近 12 年空气污染变化特征及其与气象要素的相关性分析	谢志英	刘 浩	唐新明	李腾腾	张文君(4471)
循环灰加湿量对密相塔半干法脱硫效率的影响			韩剑宏	黄永海	卢熙宁(4479)
折流式反应器空气净化效果			刘 鹏	郑 洁	宋雪瑞(4483)

固体废物处置

市政污泥干化动力学研究	范海宏	武亚磊	李斌斌	马 增(4488)
响应曲面法优化 CO_2 活化制备夏威夷坚果壳基活性炭	程 松	张利波	夏洪应	彭金辉(4495)
胞外聚合物对生物浸出线路板金属粉末中铜的作用			杨 崇	朱能武(4503)
微波超声协同处理废弃印刷线路板中非金属			蔡丽楠	殷 进(4509)
水淬钢渣碳酸化固定 CO_2	涂茂霞	雷 泽	吕晓芳	赵宏欣(4514)
O_2/CO_2 气氛下市政污泥混煤燃烧及动力学特性	邵志伟	黄亚继	严玉朋	刘长奇(4519)
提高硅钙渣胶凝活性的热活化实验	杨志杰	孙俊民	张战军	苗瑞平(4526)
医疗废物处理中生物指示剂湿热灭菌动力学方程	靳登超	李 阳	鲍振博	刘 娜(4531)
三七渣固态发酵生产康宁木霉生防菌	谭显东	王君君	王 浪	羊依金(4535)
3 种畜禽粪便产气特性差异分析	陈 芬	李 伟	刘奋武	张吴平(4540)
黑曲霉固态发酵三七渣产纤维素酶	黄 凡	谭显东	胡 伟	羊依金(4547)
常温下好氧颗粒污泥的形成过程及除污性能	姚 力	信 欣	郭 毅	宋 幻(4553)
垃圾填埋场 HDPE 膜漏洞密度及其影响因素的统计分析	徐 亚	能昌信	刘玉强	刘景财(4558)
富集同型产乙酸菌污泥厌氧产酸	王 晋	李习伟	符 波	杨 彦(4565)

土壤污染防治

海泡石及其复配原位修复镉污染稻田	梁学峰	韩 君	徐应明	谭适娟	雷 勇(4571)
水泥固封镉污染土离子释放规律与微观结构				董伟琴	陆海军(4578)

环境生物技术

嗜酸氧化亚铁硫杆菌脱煤矸石中硫影响因素的筛选及条件优化					
.....	赵尚明	何 环	于忠琦	黄冠华	冷云伟(4585)
高岭土固定 GY2B 优化其降解性能			李跃武	吴平霄	李丽萍(4591)

环境监测

成都市道路细颗粒物污染特征	袁小燕	叶芝祥	杨怀金	张 菊(4598)
基于远程图像色度的点源水质监测方法		李 文	杨守波	罗学科(4603)
海洋石油工程新型溢油监测系统研究	隋迎光	彭吉友	刘志明	任 华(4609)

西安某人工湖水质时空分布特征 及其荧光特性

于佳真 王晓昌* 薛涛 陈荣

(西安建筑科技大学环境与市政工程学院, 西安 710055)

摘要 2013年10月到2014年9月,通过对西安某人工湖水温、DO、SD、pH、TN、TP、COD、叶绿素a等10项水质指标进行监测,评价了水体的营养状态,分析了水质的时空分布特征及其可能污染来源,并对其进行三维荧光光谱分析。结果表明,实验期间,该人工湖在5—7月处于中度富营养化状态,其他月份均处于轻度富营养化状态。在时间上, NO_3^- -N、 NH_4^+ -N和TN在14年2月到5月明显高于其他月份,其中 NO_3^- -N是构成TN的主要存在形态,TP含量变化无明显规律,COD在14年3月到5月含量较高,5—7月是人工湖的藻类暴发期,叶绿素a较其他月份高,在空间上, NO_3^- -N、 NH_4^+ -N和TN各采样点间没有显著差异,TP、COD和叶绿素a波动较大,这可能与采样点附近的局部污染有关。9月份湖内的溶解性有机物主要是腐殖酸类,主要来源是微生物的生命活动和死亡分解,含量沿湖体采样点下降。

关键词 人工湖 富营养化评价 污染物来源 三维荧光光谱

中图分类号 X703.5 文献标识码 A 文章编号 1673-9108(2015)09-4265-08

Distribution of water quality in time and space and fluorescence characteristics in an artificial lake of Xi'an

Yu Jiazhen Wang Xiaochang Xue Tao Chen Rong

(Institute of Environmental and Municipal Engineering, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China)

Abstract During October 2013 to September 2014, ten water quality indicators such as DO, SD, pH, TN, TP, COD, chlorophyll-a were monitored to evaluate the nutritional status of the water body and analyse the dominant factors affecting water quality. Three-dimensional fluorescence spectrometry was studied to show the kind of dissolved organics and change trends. The results showed that during the study period, the artificial lake was moderate eutrophic during May to July, other months were in a mild state of eutrophication. In time, the concentrations of NO_3^- -N, NH_4^+ -N and TN were significantly higher than other months during February to May and NO_3^- -N was the primary existing form of TN, the concentration of TP changed little, the concentration of COD was higher in March to May, the algae outbreak in May to July, when chlorophyll-a was higher than other months. In space, there were no significant differences of NO_3^- -N, NH_4^+ -N and TN among these sampling points, the concentrations of TP, COD and chlorophyll-a changed a lot, which may be related to the pollution near sampling points. The DOM in the artificial lake in September were fulvic acid-like reducing along sampling points which came from the activities of microorganism and decomposition.

Key words artificial-lake; eutrophic evaluation; sources of pollutants; excitation-emission matrix

随着人们生活水平的提高,城市的“生态”建设越来越受到人们的重视,亲水近水的景观环境越来越多地走进了居民的生活。人工湖作为景观水体的重要组成部分,越来越多地出现在居住小区和公园里,为人居环境的改善发挥了重要作用^[1]。但由于人工湖的水体流动性差,汇水量小,交换水量调节能力小,生态结构简单,生态功能脆弱,因此受污染风险大,为维持其良好的生态景观功能,对补水水质就

有很高的要求,在城市严重缺水的今天,再生水和天然河湖成为人工湖的可持续补给水源^[2-4],然而水质状况不容乐观,很多水体发生了富营养化,有的甚

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项项目 (2013ZX07310-001)

收稿日期: 2015-03-06; **修订日期:** 2015-06-11

作者简介: 于佳真(1991—),女,硕士研究生,主要从事城市人工湖泊研究。E-mail: yjzt151@163.com

* 通讯联系人, E-mail: wauxt_wang@sina.com

至是重度富营养化^[5,6]。近年来,在城市人工管网改造过程中,截污暗涵的设计被广泛应用于人工湖,这不仅有效改善了人工湖的感官性状,也完美解决了城市排污和城市雨洪排泄的问题,因此对这类湖体的水环境特征进行研究是有必要的。通过对水体的污染物特性进行研究,可以对城市人工湖体的防治和治理提供一些建议,给城市河道改造提供一些参考。

1 材料与方法

1.1 样品采集

如图 1 所示,本研究调查的人工湖位于西安西北部,总长约为 6 270 m,水深 4 ~ 6 m,湖面 5 667 ha,总容积约为 $1.37 \times 10^4 \text{ m}^3$,水源来自沣河,经湖体由南向北流入渭河,引水设计流量为 $1.7 \text{ m}^3/\text{s}$,停留时间约为 10 d,其湖体狭长类似于河道,从进水口到出水口湖面逐渐增宽,水面最窄处 30 m,最宽处 80 m。由调查可知,该人工湖之前是城市污水的主要排污口,城市河道改造之后,湖体没有污水管道排入,而是在池底设计有钢筋砼箱暗涵,用来承担城市排污和城市雨洪的排泄任务。

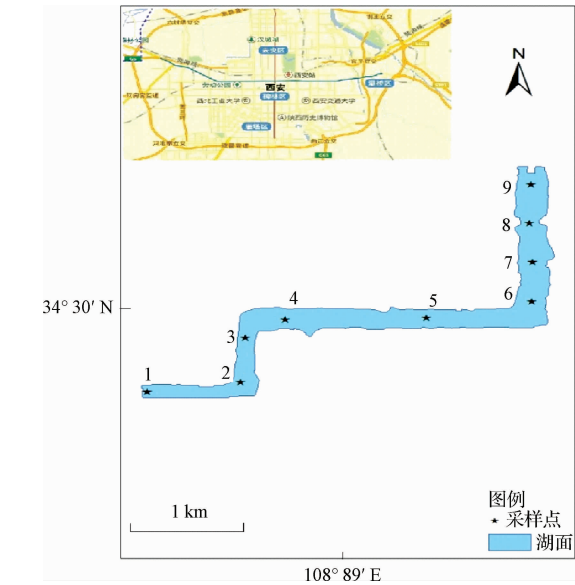


图 1 湖体及采样点分布图

Fig. 1 Lake and distribution of sampling points

实验于 2013 年 10 月—2014 年 9 月进行。根据人工湖的湖体形状,水体流动和周围环境等特点,设 9 个采样点,其中 1 号和 9 号点分别为人工湖进水和出水口。pH、DO、水温、透明度等参数采用 WTW multi 3410 便携式多参数水质测定仪进行现场测定,所取水样低温保存带回实验室分析。

1.2 样品分析

浊度采用 lovibond turbicheck 测定,TN、TP、COD、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 、叶绿素 a 等水质参数参照《水和废水监测分析方法》(第 4 版)^[7]中相应的方法进行测定,其中溶解性的 TN、TP、COD 将水样过 $0.45 \mu\text{m}$ 膜后测定。有机物的种类和浓度采用三维荧光光谱法测定,测定之前,用 $0.45 \mu\text{m}$ 膜过滤,三维荧光光谱分析采用 JASCO FP6500 型荧光光度计测定,其参数设定为:激发波长扫描范围 220 ~ 480 nm,发射波长扫描范围为 220 ~ 500 nm,激发和发射狭缝宽度分别为 5 nm 和 2 nm,扫描速度为 2 000 nm/min,扫描间隔 5 nm,水体的综合营养状态指数计算采用金相灿等^[8]的方法。

2 结果与讨论

2.1 物理指标分析及富营养化评价

2.1.1 物理指标变化分析

2013 年到 2014 年 12 次取样测得的常规理化指标的平均值如表 1 所示,由表可知,该人工湖水体偏碱性;人工湖各采样点的透明度(SD)年平均值在 0.60 ~ 0.80 m 之间,1 号取样点透明度最差,沿采样点有上升的趋势,说明水体本身存在一定的自净能力,按照美国环保局(EPA)的标准,通常 SD 小于 2 m 即为富营养化^[9],该水体处于富营养化;溶解氧(DO)含量变化范围为 9.16 ~ 10.43 mg/L,沿采样点逐渐上升;浊度为 6.69 ~ 7.70 NTU,沿采样点有下降的趋势。

2.1.2 富营养化的评价结果

湖泊营养状态评价分类等级标准为:TLI(Σ) < 30 为贫营养; $30 \leq \text{TLI}(\Sigma) \leq 50$ 为中营养; $\text{TLI}(\Sigma) > 50$ 为富营养,其中 $50 < \text{TLI}(\Sigma) \leq 60$ 为轻度富营养, $60 < \text{TLI}(\Sigma) \leq 70$ 为中度富营养, $\text{TLI}(\Sigma) > 70$ 为重度富营养。根据综合营养状态指数

表 1 人工湖部分水质指标

Table 1 Water quality index of the man-made lake					
采样点	pH	SD (cm)	DO (mg/L)	电导率 ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	浊度 (NTU)
1	8.31	65.50	9.16	548	7.70
2	8.35	71.25	9.64	538	6.69
3	8.24	72.67	9.73	525	6.70
4	8.30	77.33	9.60	547	7.15
5	8.35	76.17	10.08	549	7.07
6	8.41	78.17	10.10	543	6.91
7	8.41	70.08	10.43	548	6.80
8	8.53	77.33	10.41	529	6.95
9	8.53	73.83	10.43	525	6.83

公式,得富营养化评价结果见表 2。由表可知,研究期间,该人工湖在 5—7 月处于中度富营养化状态,其他月份属于轻度富营养化状态。

表 2 富营养化评价结果

Table 2 Evaluation results of eutrophication							
采样 时间	TLI						评价 等级
	Chla	TP	TN	COD _{Mn}	SD	Σ	
2013-10	53	46	80	51	55	57	轻-富
2013-11	53	49	75	51	55	56	轻-富
2013-12	28	47	77	51	55	50	轻-富
2014-01	31	57	77	51	54	52	轻-富
2014-02	40	51	87	51	54	55	轻-富
2014-03	46	51	93	57	56	59	轻-富
2014-04	48	49	93	53	60	59	轻-富
2014-05	63	55	89	64	65	67	中-富
2014-06	61	49	85	60	61	63	中-富
2014-07	61	52	85	59	60	63	中-富
2014-08	56	48	79	54	57	58	轻-富
2014-09	53	46	80	51	55	57	轻-富

2.2 污染物分布特征

2.2.1 污染物时空分析

图 2 中 A、B、C、D、E、F 分别表示了实验期间进水口(1 号取样点)的 NO₃⁻-N、NH₄⁺-N、TN、TP、叶绿素 a、COD 随时间的变化情况。

图 3 中 A、B、C、D、E、F 分别表示了实验期间 9 个采样点的 NO₃⁻-N、NH₄⁺-N、TN、TP、叶绿素 a、COD 随时间的变化情况。由图 3 可知,人工湖中 NO₃⁻-N、NH₄⁺-N、TN、TP、COD、叶绿素 a 的浓度分别在 1.02 ~ 5.3 mg/L、0.057 ~ 4.14 mg/L、2.54 ~ 11.8 mg/L、0.03 ~ 0.15 mg/L、15.98 ~ 32.7 mg/L、0.84 ~ 45.3 μg/L。

对比图 2 和图 3 中 A、B、C 得,图 3 中从时间上来看,NO₃⁻-N、NH₄⁺-N 和 TN 浓度在 2013 年 12 月到 3 月均处于上升阶段,2014 年 5 月到 8 月整体呈现递减的趋势,2014 年 9 月各采样点 NO₃⁻-N、TN 含量随进水含量增加而增加。结合图 2 中 A、B、C 的 1 号采样点变化趋势可得,湖体氮营养盐的变化趋势和进水氮营养盐的趋势大致吻合。从空间上来看,春季和秋季各采样点间氮营养盐变化不明显,夏季和冬季大多表现为进水大于出水,个别采样点表现沿湖体下降趋势,这可能与湖体的自净作用有关。由此得,氮营养盐元素主要受进水水质的影响,属于进水主导性指标。

对比图 2 和图 3 中 D、E、F 得,TP、叶绿素 a 和 COD 含量的变化不完全受进水水质的影响。2014 年 1 月份到 2 月份以及 4 月份到 7 月份之间,湖体

中其他采样点的 TP 变化趋势与一号取样点(进水口)正好相反,其中 4、5 月份进水 TP 浓度减小,采样点上 TP 含量却有上升的趋势,2013 年 10 月到 2014 年 2 月 COD 各采样点之间差异不大,2014 年 2 月份到 8 月份采样点间变化明显。TP 和 COD 变化趋势可能与水动力条件有关,也可能与外源污染有关,可能的原因有建筑工地施工造成交通桥上覆盖大量尘土,过往车辆带起的交通扬尘以及雨水冲刷流入湖体的污染;游人水上活动包括划船,喂鱼等的污染。

由图 3 中 D、E、F 得,在空间上,各采样点之间 TP 含量差异较大,无明显趋势,COD 和 Chla 含量在 2013 年 10 月到 2014 年 2 月各采样点间无明显变化,2014 年 5 月到 2014 年 9 月多表现为沿湖体增大的趋势。在时间上,5 月份到 7 月份水体中叶绿素 a 的含量明显增大,在营养盐较高的 3—4 月份,叶绿素 a 含量并没有大幅度增加,Steinberg 等^[10]认为,引起富营养化的各种藻类都有其特定的营养盐浓度,该人工湖可能存在氮磷含量相对藻类过剩的现象。藻类的经验分子式为 C₁₀₆H₂₆₃O₁₁₀N₁₆P,计算得产生 1 mg 的藻细胞,需要 0.063 mg 的氮和 0.0087 mg 的磷,该人工湖内氮磷含量已经远远超过生成藻细胞需要的量,陈永根等^[11]研究表明高浓度的氮磷营养盐对藻类存在抑制作用,所以即使营养物质过剩的条件下其生长量还是较低。这说明该人工湖中 Chla 的增长主要受温度影响。由图 3 得 5 月到 7 月是该人工湖藻类爆发期,这与自然湖体存在一定的差异,自然湖体的藻类爆发期一般是在夏季 7—9 月^[12-14]。由此得,该人工湖 TP、叶绿素 a、COD 不属于进水主导性指标,它们还受其他因素的影响,如外源污染,温度的影响。

有资料表明,西安的雨季是一年中的 8 月份,9 月份,雨季期间 NO₃⁻-N、NH₄⁺-N、TN、TP、叶绿素 a、COD 湖体内都出现了下降,降水对水体起到了一定的稀释作用,由此可得,雨季的降水是人工湖水质的主要影响因素。

2.2.2 氮磷形态分析

图 4 从时间上分析了 TN 构成变化,每个月份取 9 个采样值的均值来进行分析。

由图 4 可得,硝态氮和氨氮的浓度变化明显,跟它们相比,亚硝态氮并无明显变化,其中硝态氮一直是构成 TN 含量最高的形态,是 TN 污染的主要存在形式,这与补水水源的氮主要存在形式是一样的^[15],进一步说明了补水水源是该人工湖的主要污

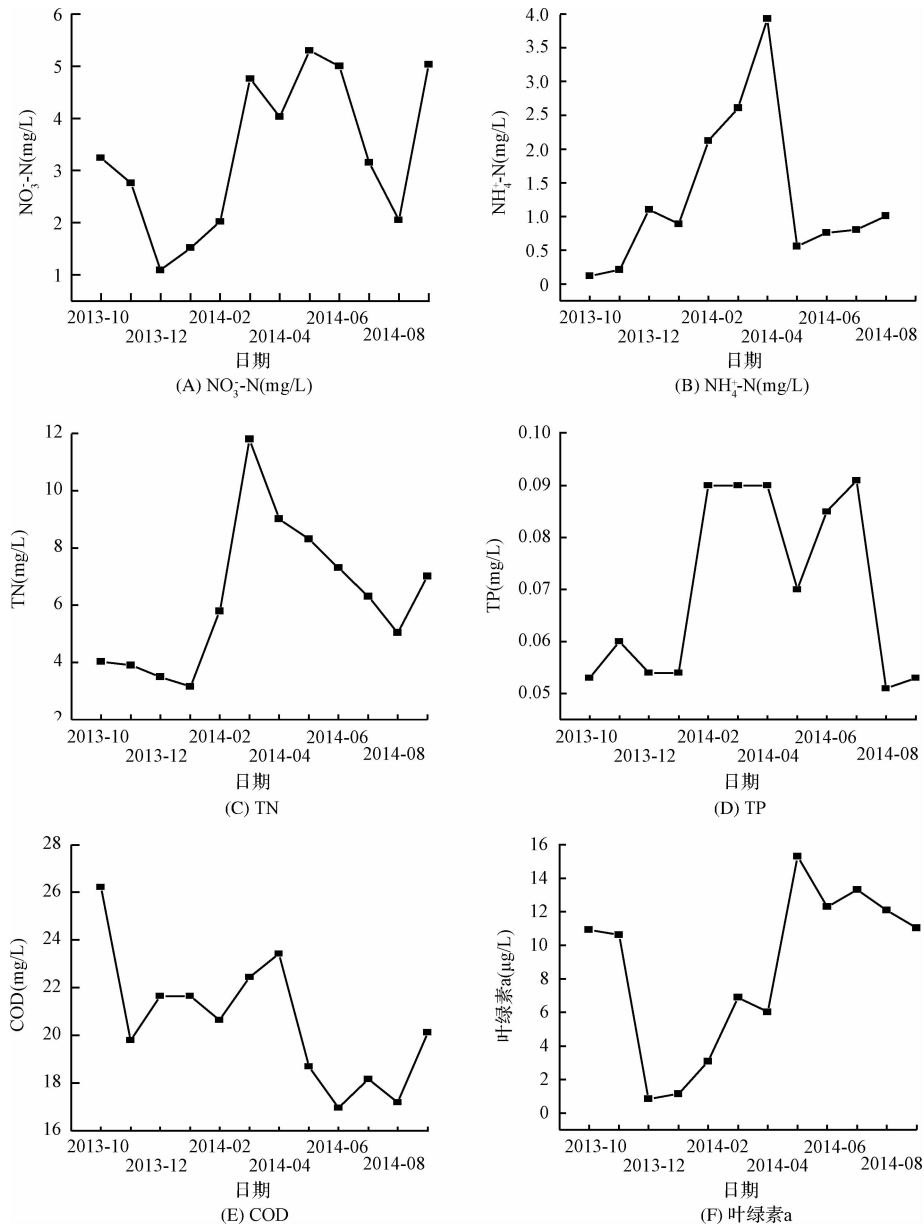


图 2 进水口污染物变化
Fig. 2 Variation of pollutants in water inlet

染来源, 2014 年 1 月份到 4 月份, 氨氮含量和硝态氮含量均大幅度提高, 其中氨态氮在 4 月份达到最大值, 为 3.56 mg/L, 硝态氮在 5 月份达到最大值, 为 4.78 mg/L, 这与进水的水质有关, 结合图 2 可得, 进水的氨氮和硝氮分别在这 2 个月里达到最大值。

从时间上分析了颗粒态和溶解态总磷的含量变化, 每个月份取 9 个采样值的均值来进行分析。

由图 5 可得, DTP 占 TP 含量的 36.9% ~ 95.3%, 颗粒态的总磷在 2014 年的 1 月份和 2 月份含量明显增大, 1 月份达到全年最高值 0.0644 mg/

L, 而溶解态总磷含量在 1 月份并没有大的变化, 结合图 2 可得, 2014 年 1 月份总磷变化趋势为 1 号取样点含量最低, 出水口适当增加, 湖体内其他采样点总磷含量明显高于进水, 特别是 4 号和 7 号采样点, 这可能与采样点附近的工地有关, 施工给水体带来了扬尘污染。2014 年的 3 月份到 5 月份, 水体中 DTP 含量明显增大, 有资料表明, 水体中藻类细胞的生长取决于 DTP 的浓度大小^[16,17], 结合图 3 可得, 该人工湖藻类的大量增值并不在 3 月份到 5 月份, 这也证实了前面的说法, 营养盐并不是该人工湖藻类增长的主导因素。

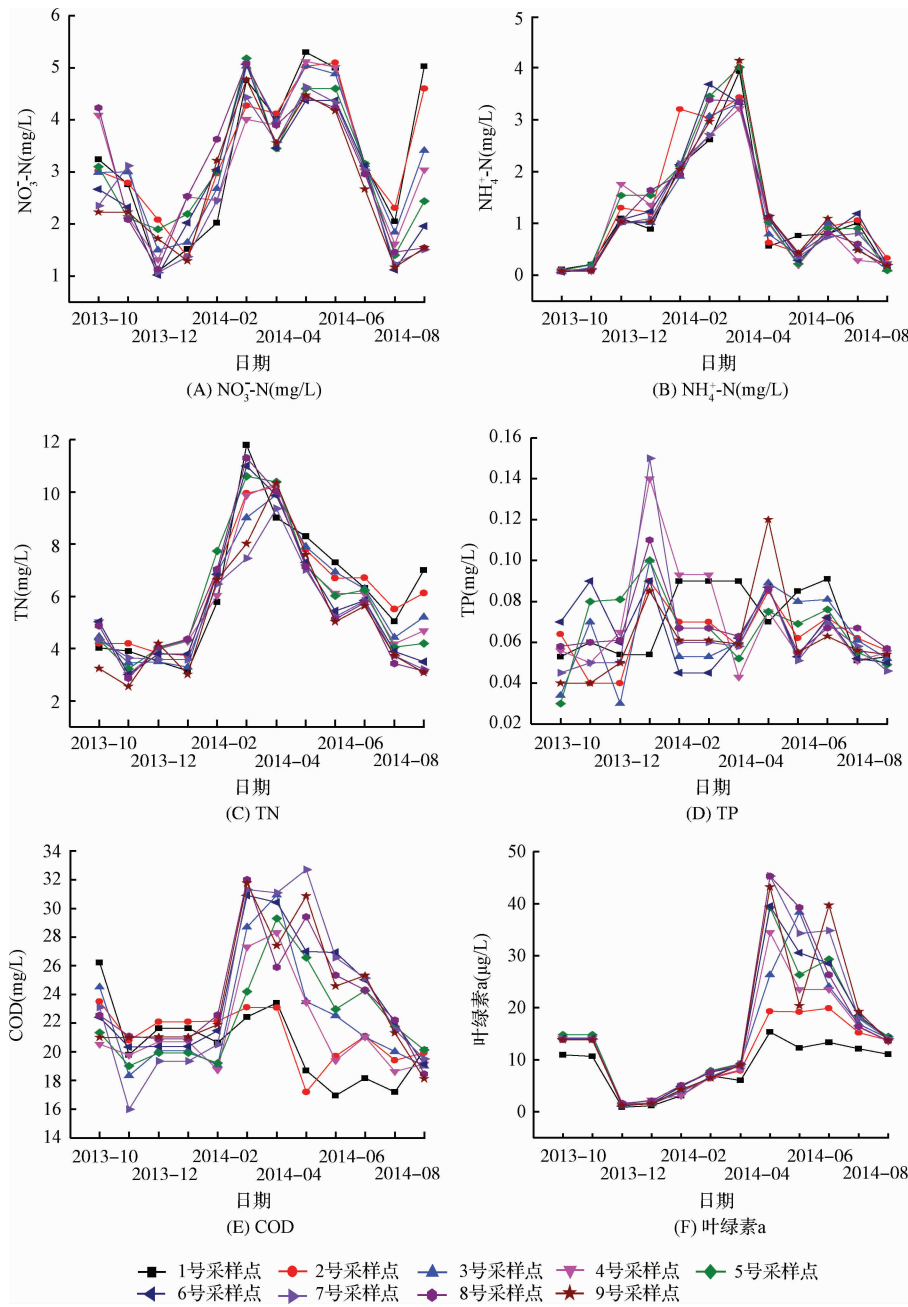


图 3 污染物时空变化图

Fig. 3 Variation of of pollutants in time and space

2.2.3 水质指标相关性分析

根据 2013 年 10 月到 2014 年 9 月全年的监测数据,采用 SPSS 对人工湖各水质指标间的相关性进行分析,结果列于表 3。由表 3 可得,SD 与 COD_{Mn} 呈显著正相关, COD_{Mn} 与 TN、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 和 $\text{NH}_4\text{-N}$ 均呈极显著正相关,其中,与 TN 相关性系数最大,与 $\text{NH}_4\text{-N}$ 相关性系数最小。综合营养状态指数与 Chla 呈极显著正相关,与 $\text{NO}_3\text{-N}$ 呈显著相关,其他水质指标间无明显相关性。

2.3 三维荧光光谱分析

传统的有机物污染指标如高锰酸盐指数,化学需氧量等只能反映部分有机物总量,难以反映湖泊水体中各类溶解性有机物的组成,不能很好地反映湖泊的污染情况。三维荧光法利用有机物分子可以在一定波长紫外光照射下吸收光能,在极短时间内产生波长大于激发波长的荧光特性,当保持激发光和发射光固定,不同的有机物在一定的浓度范围内,荧光强度和有机物浓度线性相关,因此,根据荧光波

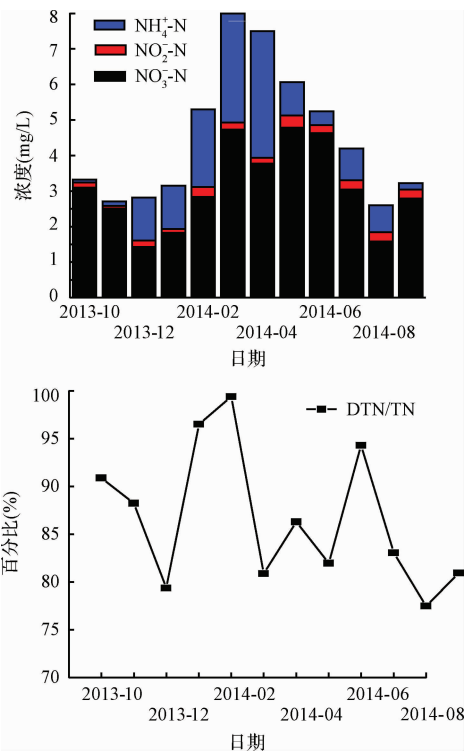


图 4 TN 构成图
Fig. 4 Component of total nitrogen

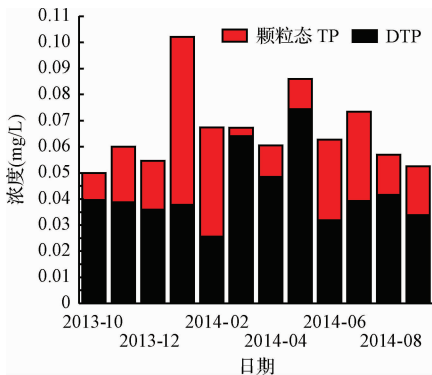


图 5 TP 构成图
Fig. 5 Component of total phosphorus

长和强度可以来判别有机物物质的种类和浓度^[20]。

为了更好了解该人工湖中溶解性有机物 (DOM) 的组成,对该人工湖水样进行了三维荧光光谱分析。图 7 为该人工湖 9 月份 5 个采样点的三维荧光光谱图。

由图 6 可知,水样的 EMM 图只显示一个荧光特征峰,所代表的有机物类型为腐殖酸类物质 ($\lambda_{ex}/\lambda_{em} = (250 \sim 400)/(380 \sim 500)$)^[21],荧光强度在沿程上逐渐减小,说明该物质在沿程减小。Murphy 等^[22]和 Nelson 等^[23]的研究表明,水体中的腐殖酸类物质主要由外源输入的沿岸土壤溶解到水中的腐殖质以及内源中浮游动植物释放的有机物经由细菌进一步降解后产生,而荧光指数 ($f_{450/500}$) 可表征 DOM 中腐殖质的来源^[24]。荧光指数指的是在 370 nm 的激发波处,发射波长在 450 nm 与 500 nm 处的荧光强度比值, $f_{450/500}$ 大于 1.9 时腐殖酸主要来源于微生物代谢等过程,小于 1.4 时主要来自于陆源^[25],本实验中沿湖体各采样点的 $f_{450/500}$ 分别为 2.1 (进水口)、2.0、1.9、1.9、1.9 (出水口),说明该

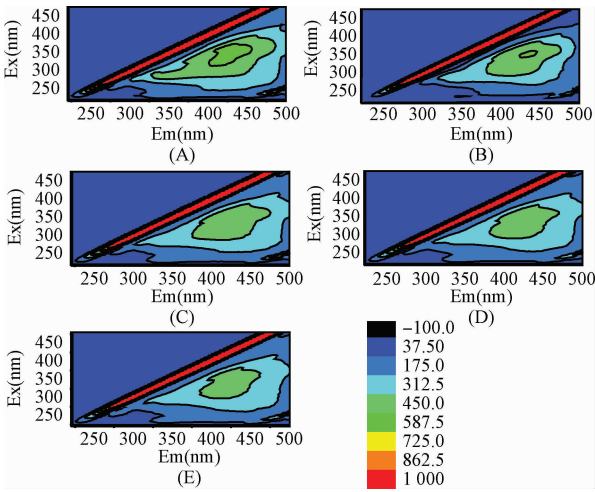


图 6 人工湖 5 个采样点的 EEM 图
Fig. 6 EMMs of five sampling points in the artificial lake

表 3 人工湖各水质指标的相关系数

Table 3 Correlation coefficients between water quality index

	Chla	TN	TP	COD _{Mn}	SD	NO ₃ ⁻ -N	NH ₄ ⁺ -N	TLI(Σ)
Chla	1							
TN	-0.050	1						
TP	0.012	0.112	1					
COD _{Mn}	-0.070	0.772 **	0.149	1				
SD	-0.098	0.06	0.029	0.266 *	1			
NO ₃ ⁻ -N	0.148	0.475 **	0.130	0.515 **	0.180	1		
NH ₄ ⁺ -N	-0.030	0.655 **	0.061	0.486 **	-0.007	0.016	1	
TLI(Σ)	0.775 **	0.173	0.007	0.120	-0.049	0.386 *	-0.099	1

注:** 在 0.01 水平上相关极显著,* 在 0.05 水平上相关显著。

人工湖内腐殖酸类物质主要来自于微生物的生命活动和死亡分解,这与湖体内的藻类死亡和浮游植物枯萎有关。

3 结论与建议

(1)通过对人工湖水质进行分析评价,可知该人工湖水体呈偏碱性,在藻类爆发期(5—7月)属于中度富营养化状态,其他月份属于轻度富营养化状态。

(2)通过对湖体污染物时空分布分析可知,实验期间,在时间上, NO_3^- -N、 NH_4^+ -N和TN在2014年2月到5月明显高于其他月份,其中 NO_3^- -N是构成TN的主要存在形态,这与补水水源的氮主要存在形式是一样的,TP含量变化无明显规律,COD在2014年3月到5月含量较高,叶绿素a在2014年5—7月份较其他月份高,人工湖存在氮磷营养盐过剩的现象,叶绿素a主要受温度的影响。在空间上, NO_3^- -N、 NH_4^+ -N和TN各采样点间变化不大,TP、COD和叶绿素a波动较大,这可能与各别采样点附近的局部污染有关,可能的污染源主要包括交通扬尘以及雨水冲刷带入湖体的污染和游人水上活动等。

(3)通过对EMM图分析可得,该人工湖9月份溶解性有机物主要是腐殖酸类,沿湖体逐渐减小,由荧光指数可知,腐殖酸类的主要来源是微生物的生命活动和死亡分解。为有效地减小水中的溶解性有机物,建议在秋季清除死亡的藻类和枯萎的植物。

(4)建议在不同时期对游人的游览制定不同的管理措施,如藻类爆发期,减小游人水上活动和喂食水中鱼类。通过动态调整配水节省水源,在水质较好的时期如降雨期或冬季,可以适当增加湖体的水力停留时间,在藻类爆发期,减小水力停留时间。

参考文献

- [1] 王军. 某新校区人工湖水环境状况评价及污染控制措施研究. 重庆: 重庆大学硕士学位论文, 2008
Wang Jun. Study on water environment and pollution control methods of the artificial lake in a new campus. Chongqing: Master Dissertation of Chongqing University, 2008 (in Chinese)
- [2] 赵乐军, 王秀朵, 刘春光, 等. 再生水回用于景观水体的富营养化趋势研究. 给水排水, 2008, 34(12): 13-16
Zhao Lejun, Wang Xiuduo, Liu Chunguang, et al. Study on the eutrophicating tendency of reclaimed wastewater for landscape water. Water & Wastewater Engineering, 2008, 34(12): 13-16 (in Chinese)
- [3] 童琰, 徐春燕, 胡雪芹, 等. 滴水湖引水河段组合型生态工程春季对水体净化效果研究. 上海海洋大学学报, 2011, 20(6): 930-937
Tong Yan, Xu Chunyan, Hu Xueqin, et al. Research of the ecological restoration results of the combined ecological project in Yinshui River, Dripping Lake in spring. Journal of Shanghai Ocean University, 2011, 20(6): 930-937 (in Chinese)
- [4] 唐清华, 高强, 庞志研, 等. 广州市白云人工湖生态修复工程设计. 环境工程学报, 2014, 8(7): 3083-3088
Tang Qinghua, Gao Qiang, Pang Zhiyan, et al. Engineering design of ecological rehabilitation for Baiyun artificial lake in Guangzhou. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2014, 8(7): 3083-3088 (in Chinese)
- [5] 杨猛. 城市景观水体的综合指标评价方法的研究. 上海: 东华大学硕士学位论文, 2005
Yang Meng. The study of evaluation method-comprehensive indexes of city landscape water. Shanghai: Master Dissertation of Donghua University, 2005 (in Chinese)
- [6] 申杰. 城市景观水体表观污染的吸收光谱表征方法研究. 苏州: 苏州科技学院硕士学位论文, 2012
Shen Jie. Research on the characterization methods of apparent pollution for urban water based on absorption spectrum. Suzhou: Master Dissertation of Suzhou University of Science and Technology, 2012 (in Chinese)
- [7] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法(第4版). 北京: 中国环境科学出版社, 2002
- [8] 金相灿, 屠清瑛. 湖泊富营养化调查规范. 北京: 中国环境科学出版社, 1990: 286-308
- [9] 刁淑荣. 白洋淀富营养化水平综合评价. 环境科学, 1995, 16(增刊): 28-29
- [10] Steinberg C. E. W., Hartmann H. M. Planktonic bloom-forming cyanobacteria and the eutrophication of lakes and rivers. Freshwater Biology, 1988, 20(2): 279-287
- [11] 陈永根, 刘伟龙, 韩红娟, 等. 太湖水体叶绿素a含量与氮磷浓度的关系. 生态学杂志, 2007, 26(12): 2062-2068
Chen Yonggen, Liu Weilong, Han Hongjuan, et al. Relationships between chlorophyll-a content and TN and TP concentrations in water bodies of Taihu Lake, China. Chinese Journal of Ecology, 2007, 26(12): 2062-2068 (in Chinese)
- [12] 朱广伟. 太湖富营养化现状及原因分析. 湖泊科学, 2008, 20(1): 21-26
Zhu Guangwei. Eutrophic status and causing factors for a

- large, shallow and subtropical Lake Taihu, China. *Journal of Lake Sciences*, **2008**, 20(1): 21-26 (in Chinese)
- [13] 吴洁, 钱天鸣, 虞左明. 西湖叶绿素 a 周年动态变化及藻类增长潜力试验. *湖泊科学*, **2001**, 13(2): 143-148
- Wu Jie, Qian Tianming, Yu Zuoming. The annual fluctuation of chlorophyll-a and the algal growth potential test in West Lake, Hangzhou. *Journal of Lake Sciences*, **2001**, 13(2): 143-148 (in Chinese)
- [14] 中国环境监测总站. 第八次全国环境监测学术交流会论文集. 青岛, **2007**
- [15] 杨凯, 袁林江, 赵丙良. 降雨对沔河水质和污染特征的影响. *水资源与水工程学报*, **2001**, 22(2): 50-54
- Yang Kai, Yuan Linjiang, Zhao Bingliang. Effect of rainfall on Feng River water quality and pollution characteristics. *Journal of Water Resources and Water Engineering*, **2001**, 22(2): 50-54 (in Chinese)
- [16] 陈慈美, 林月玲, 陈于望, 等. 厦门西海域磷的生物地球化学行为和环境容量. *海洋学报*, **1993**, 15(3): 43-48
- [17] Ciblin A. E., Hopkinson C. S., Tucker J. Benthic metabolism and nutrient cycling in Boston Harbor, Massachusetts. *Estuaries*, **1997**, 20(2): 346-364
- [18] 蒋剑凯, 吴静, 刘雪华. 景观湖水质的三维荧光指纹. *光谱学与光谱分析*, **2010**, 30(6): 1525-1529
- Jiang Jiankai, Wu Jing, Liu Xuehua. Fluorescence properties of lake water. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, **2010**, 30(6): 1525-1529 (in Chinese)
- [19] Chen Wen, Westerhoff P., Leenheer J. A., et al. Fluorescence excitation-emission matrix regional integration to quantify spectra for dissolved organic matter. *Environmental Science & Technology*, **2003**, 37(4): 5701-5710
- [20] Murphy K. R., Stedmon C. A., Waite T. D., et al. Distinguishing between terrestrial and autochthonous organic matter sources in marine environments using fluorescence spectroscopy. *Marine Chemistry*, **2008**, 108(1-2): 40-58
- [21] Nelson N. B., Carlson C. A., Steinberg D. K. Production of chromophoric dissolved organic matter by Sargasso Sea microbes. *Marine Chemistry*, **2004**, 89(1-4): 273-287
- [22] Tedetti M., Guigue C., Guigue C., et al. Characterization of dissolved organic matter in a coral reef ecosystem subjected to anthropogenic pressures (La Réunion Island, Indian Ocean) using multi-dimensional fluorescence spectroscopy. *Science of the Total Environment*, **2011**, 409(11): 2198-2210
- [23] McKnight D. M., Boyer E. W., Westerhoff P. K., et al. Spectrofluorometric characterization of dissolved organic matter for indication of precursor organic material and aromaticity. *Limnology and Oceanography*, **2001**, 46(1): 38-48