

# 鄱阳湖丰水期氮素分布特征及其对藻类的影响

李艳红<sup>1</sup>,王雪漫<sup>2</sup>,徐珺恺<sup>1</sup>,胡春华<sup>2</sup>

(1.江西省水利科学院 江西省鄱阳湖水资源与环境重点实验室,江西 南昌 330029;

2.南昌大学 鄱阳湖环境与资源利用教育部重点实验室 资源与环境学院,江西 南昌 330029)

**摘要:**为了探讨湖泊富营养化过程中水体氮浓度的时空分布格局及其对藻类的影响,于2017年7月在鄱阳湖主湖区布设45个采样点,对浮游藻类数量和氮素含量进行监测,运用单因素方差分析法和皮尔逊相关系数法对数据进行分析。结果表明,丰水期鄱阳湖主湖区各采样点的总氮、硝酸盐氮、氨氮的平均浓度分别为0.54~1.26、0.06~1.01、0.08~0.30 mg/L,外源输入及环境条件对氮素浓度分布产生了一定影响;藻类密度与总氮、硝酸盐氮浓度表现为显著负相关性,与氨氮浓度相关性不明显,南部湖区的总氮和硝酸盐氮浓度高于其他湖区,平均浓度为1.10 mg/L和0.75 mg/L,但藻类密度较低,均值为 $1.0 \times 10^6$  个/L;西部湖区的氮素浓度较低,总氮和硝酸盐氮浓度均值为0.59 mg/L和0.18 mg/L,藻类密度最高值为 $3.5 \times 10^6$  个/L。中营养水域占主湖区的44%,富营养水域占56%,东部和西部湖区是鄱阳湖富营养化风险较高的区域。

**关键词:**氮素分布;藻类生长;丰水期;鄱阳湖

**中图分类号:**X524 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-3075(2022)04-0016-07

氮素是藻类等浮游植物生长所需的主要营养物质之一。湖水中溶解性无机氮主要包括硝酸盐氮、亚硝酸盐氮和氨氮,其中亚硝酸盐氮含量低且不稳定,易转化为其他形态的氮(Ross et al, 2018)。氮素浓度的变化会直接导致浮游植物群落结构和生物量的变动,对湖泊藻类的生长和繁殖具有重要影响(蒋鑫艳等,2019;代亮亮等,2020)。浮游植物经吸收和转化过程,将无机氮变为有机氮,为自身繁殖提供营养物质,随后不同形式的有机氮经植物分解释放出来,最后又转为无机氮(Li et al, 2006)。因此,不同形态无机氮在藻类生长过程中起到了至关重要的作用。以往氮素与藻类生长关系的研究多集中在氮磷营养盐对单一藻生长的影响(许海等,2019)及不同形态氮磷对浮游植物的影响(孙鑫等,2019);或通过室内模拟和原位受控实验,研究氮磷营养盐对藻类生长的影响(Huang et al, 2012;Meng et al, 2012;邓开开等,2021);此类研究在揭示开放性水域氮素形态与藻类生长关系方面存在不足。

鄱阳湖是中国最大的淡水湖泊,承纳赣江、抚河、信江、饶河、修水五河来水,调蓄后经湖口注入长江。通常以松门山为界,将鄱阳湖分南、北两部分,北部为入江水道区,水体流速快,主要呈现河流特性;南部为主湖区,水体交换速度慢,污染物来源复杂,各区域水质差异性大,受人为干扰严重,属于过渡型水体(胡春华,2010);丰水期鄱阳湖主湖区雨量丰富,水面开阔,湖区内浮游植物长势较好(黄爱平,2018)。随着鄱阳湖水环境质量不断下降,水体富营养化在进一步加剧(胡春华等,2012),浮游植物的群落结构也处于不断变化之中,蓝藻(微囊藻)、绿藻、硅藻等为鄱阳湖浮游生物的主要优势种(彭彦彦等,2018)。藻类种类和生物量是研究水体富营养化的重要内容,对水环境具有很大的影响。因此,研究氮素对藻类生长的影响具有重要意义。本文通过研究鄱阳湖氮素分布特征及其对藻类生长的影响,探讨鄱阳湖主湖区丰水期氮素与藻类生长的关系,以期对鄱阳湖富营养化治理提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 采样点分布

根据鄱阳湖“丰水一片、枯水一线”的独特水文特征,并结合鄱阳湖藻类生长特点,选择适宜藻类生长繁殖的水温和水动力环境,以丰水期鄱阳湖主湖区作为研究对象;同时,根据水质差异与水体来源对研究区域进行详细划分。西部湖区为赣江西支和修

收稿日期:2021-01-29 修回日期:2021-10-11

基金项目:国家自然科学基金(41663002);江西省青年科学基金(20192BAB213027);江西省水利科技计划项目(201922ZDKT14)。

作者简介:李艳红,1984年生,女,高级工程师,主要从事水环境保护研究。E-mail:liyanhong012@126.com

通信作者:胡春华,1976年生,男,副教授,主要从事水环境化学研究。E-mail:nchuchunhua@163.com

水的河口三角洲水域,含有碟形湖(湖盆区内枯水季节显露于洲滩之中的季节性湖泊);南部湖区为赣江中支、南支和抚河的河口三角洲水域,含有碟形湖,区域水体流速平缓;东部湖区为饶河和信江东支的河口三角洲水域,含有典型的湖湾区域,流速慢,水体交换能力差。

本次研究于2017年7月对鄱阳湖主湖区进行水样采集,利用网格布点法并结合实地进行考察,在主湖区布设45个采样点。其中,采样点1~12代表西部湖区(I),水深5.2~14.9 m,平均水深9.2 m;13~33为南部湖区监测点(II),水深为4.6~15.6 m,平均水深7.9 m;34~45为东部湖区监测点(III),水深为5.4~7.4 m,平均水深6.7 m。采样位点和区域划分见图1。

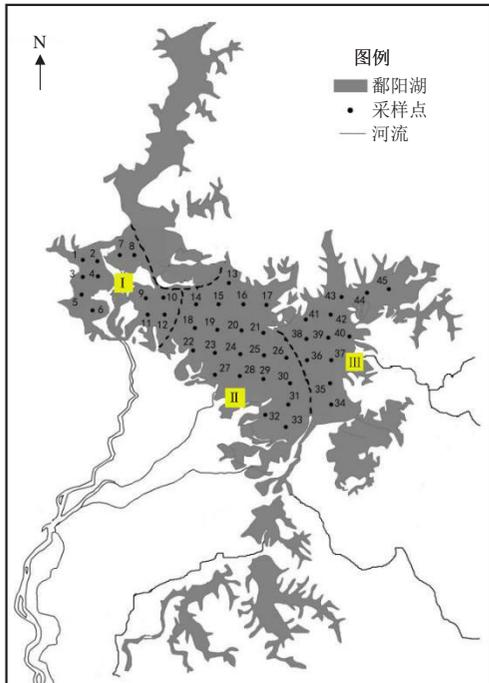


图1 丰水期鄱阳湖主湖区采样点

Fig.1 Location of the sampling sites in the main area of Poyang Lake in wet season

## 1.2 样品采集

用2 L有机玻璃采水器采取水面下0.5 m处水样,现场用HACH便携式水质参数分析仪分别测定溶解氧、pH值、水温、浊度。现场用0.45 μm的Millipre滤膜过滤500 mL滤液于聚乙烯瓶中,低温避光运回实验室加H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>酸化保存,于72 h内尽快测定总氮(TN)、硝酸盐氮(NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N)、氨氮(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N)浓度。

## 1.3 样品处理

对带回实验室水样进行不同形态氮的分析测定。总氮含量采用碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法,按照GB 1894-89操作进行测定;氨氮含量采

用纳氏试剂分光光度法,按照HJ 535-2009操作进行测定;硝酸盐氮含量采用紫外分光光度法,按照HJ/T 346-2007测定;高锰酸盐指数采用碱性法测定;悬浮物测定采用重量法,按照GB 11901-89测定;浮游藻类计数采用目镜行格法,取固定后的50 mL浓缩液0.1 mL进行定量镜检计数,同一样品的2片计算结果和平均数之差不大于其均值的15%,否则需要重新计数;然后进行分类鉴定,并计算出浮游藻类的数量(赵文,2005;周凤霞,2005)。

## 1.4 数据分析

本实验数据采用SPSS24进行统计分析,采用单因素(One-way ANOVA)分析数据间的差异显著性;采用Pearson相关性说明环境因素之间的相关关系。所有数据采用Origin 8.5和Excel 2010绘图。

## 2 结果与分析

### 2.1 氮素浓度变化

丰水期鄱阳湖主湖区水体总氮、硝酸盐氮、氨氮变异系数分别为9.23%~10.68%、23.10%~43.18%、19.70%~29.76%(表1)。由于受藻类生长、季节变化及温度的影响,氮素变异系数总体表现为:硝酸盐氮>氨氮>总氮;同时,受主湖区位点影响,氮素变异系数总体表现为:西部湖区>东部湖区>南部湖区。硝酸盐氮在西部湖区变幅较大,达43.18%,该位点受水体扰动较大;总氮在各湖区变幅较小。

表1 丰水期鄱阳湖主湖区氮素浓度变化

Tab.1 Variation of nitrogen concentration in the main area of Poyang Lake in wet season

湖区	总氮		硝酸盐氮		氨氮	
	变化范围 /mg·L <sup>-1</sup>	变异系数 /%	变化范围 /mg·L <sup>-1</sup>	变异系数 /%	变化范围 /mg·L <sup>-1</sup>	变异系数 /%
西部	0.54~0.64	9.62	0.06~0.26	43.18	0.09~0.17	29.76
南部	0.95~1.26	9.23	0.45~1.01	23.10	0.08~0.23	19.70
东部	0.68~1.01	10.68	0.17~0.47	28.39	0.12~0.30	26.52

从氮素浓度分布上来看(图2),鄱阳湖西部湖区(样点1~12)总氮、硝酸盐氮、氨氮浓度平均值为0.59、0.18、0.11 mg/L;南部湖区(样点13~33)总氮、硝酸盐氮、氨氮浓度平均值为1.10、0.75、0.16 mg/L;东部湖区(样点34~45)总氮、硝酸盐氮、氨氮浓度平均值为0.83、0.32、0.21 mg/L。研究区域内,总氮浓度最高值出现在南部湖区,浓度为1.26 mg/L,东部湖区次之,最低值出现在西部湖区,浓度为0.54 mg/L;硝酸盐氮浓度变化趋势与总氮相同,最高值出现在南部湖区,浓度为1.01 mg/L,最低值出现在西部湖区,浓

度为 0.06 mg/L; 氨氮表现为从南向北浓度逐渐降低的趋势, 但总体浓度变化表现不明显, 浓度在 0.08~0.30 mg/L, 整体波动范围较小。

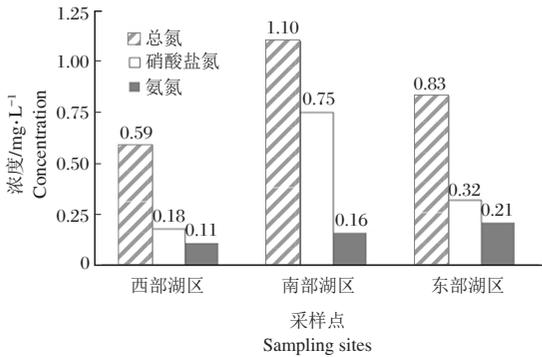


图 2 丰水期鄱阳湖主湖区各区域氮素平均浓度

Fig.2 Average nitrogen content in the main area of Poyang Lake in wet season

## 2.2 藻类生长与分布

鄱阳湖各区域的藻类密度见表 2。西部湖区藻类密度为  $8.0 \times 10^5 \sim 3.5 \times 10^6$  个/L, 该区域内藻类长势最好, 平均值为  $2.0 \times 10^6$  个/L, 出现全区域内藻类密度的最高值  $3.5 \times 10^6$  个/L; 东部湖区藻类  $4.0 \times 10^5 \sim 3.3 \times 10^6$  个/L, 均值为  $1.4 \times 10^6$  个/L; 南部湖区藻类  $5.0 \times 10^5 \sim 1.7 \times 10^6$  个/L, 数量相对较少, 均值为  $1.0 \times 10^6$  个/L, 最高值  $1.7 \times 10^6$  个/L 也仅达到本次研究中丰水期藻类生长最高峰值的 50%。不同区域内藻类密度分布情况为: 西部湖区 > 东部湖区 > 南部湖区, 表现了一定的区域差异性。区域性变化对藻类密度分布产生了一定程度的影响, 这很可能与藻类对营养盐的吸收程度以及各区域营养盐的浓度分布有关。

表 2 鄱阳湖各区域藻类密度

Tab.2 Range of algae densities in each region of Poyang Lake

采样点	湖区	密度范围/个·L <sup>-1</sup>
1~12	西部	$8.0 \times 10^5 \sim 3.5 \times 10^6$
13~33	南部	$5.0 \times 10^5 \sim 1.7 \times 10^6$
34~45	东部	$4.0 \times 10^5 \sim 3.3 \times 10^6$

## 2.3 氮素浓度与藻类数量的关系

丰水期鄱阳湖主湖区水体指标 Pearson 相关系数见表 3。氮素对藻类密度影响的相关性分析中, 藻类密度与总氮表现为显著负相关性 ( $R^2 = -0.663$ ,  $P < 0.01$ ), 与硝酸盐氮也表现为显著负相关性 ( $R^2 = -0.533$ ,  $P < 0.05$ )。大体趋势表现为在总氮、硝酸盐氮浓度较低的水平下, 藻类密度较高, 生长情况较好; 而浓度较高水平下的藻类密度相对较低。氮素浓度与藻类密度的线性关系见图 3。即总氮、硝酸盐氮浓度与藻类密度表现为负相关性, 氨氮浓度与藻类密度的相关性不明显。

相关分析表明, 鄱阳湖总氮与硝酸盐氮、溶解氧、pH 具有显著相关性 (表 3)。表现为总氮浓度与硝酸盐氮浓度 ( $R^2 = 0.884$ ,  $P < 0.01$ ) 呈现显著正相关, 即总氮浓度随着硝酸盐氮浓度的增加而增加, 二者变化趋势相同; 总氮与溶解氧 ( $R^2 = -0.639$ ,  $P < 0.05$ )、pH ( $R^2 = -0.613$ ,  $P < 0.05$ ) 环境因素呈现显著负相关, 变化趋势相反。氨氮与水中悬浮物相关性明显, 表现为正相关 ( $R^2 = 0.819$ ,  $P < 0.01$ ), 二者变化趋势相同。本次研究中, 硝酸盐氮与水体各理化指标的相关性不明显, 但为藻类的生长繁殖提供了良好的环境条件, 其影响作用不可忽略。

表 3 丰水期鄱阳湖主湖区水体指标的 Pearson 相关系数

Tab.3 Pearson correlation coefficient between different water environmental parameters of Poyang Lake in wet season

理化指标	总氮	硝酸盐氮	氨氮	藻类密度	溶解氧	pH	水温	高锰酸盐	浊度	悬浮物
总氮	1									
硝酸盐氮	0.884**	1								
氨氮	0.101	0.064	1							
藻类密度	-0.663**	-0.533*	-0.282	1						
溶解氧	-0.639*	-0.503	0.074	0.563	1					
pH	-0.613*	-0.477	-0.201	0.529	0.881**	1				
水温	0.126	0.248	-0.179	-0.384**	0.284*	0.179	1			
高锰酸盐	0.104	0.304	-0.103	-0.232	-0.085	-0.064	0.364	1		
浊度	-0.185	-0.207	0.175	0.008	-0.608*	-0.683*	0.205	-0.109	1	
悬浮物	0.065	-0.024	0.819**	-0.198	-0.143	-0.414	0.057	-0.114	0.509	1

注: \*\*表示在 0.01 水平 (双侧) 上显著相关; \* 表示在 0.05 水平 (双侧) 上显著相关。

Note: \*\*indicates a significant correlation at the level of 0.01 (bilateral); \* indicates a significant correlation at the level of 0.05 (bilateral).

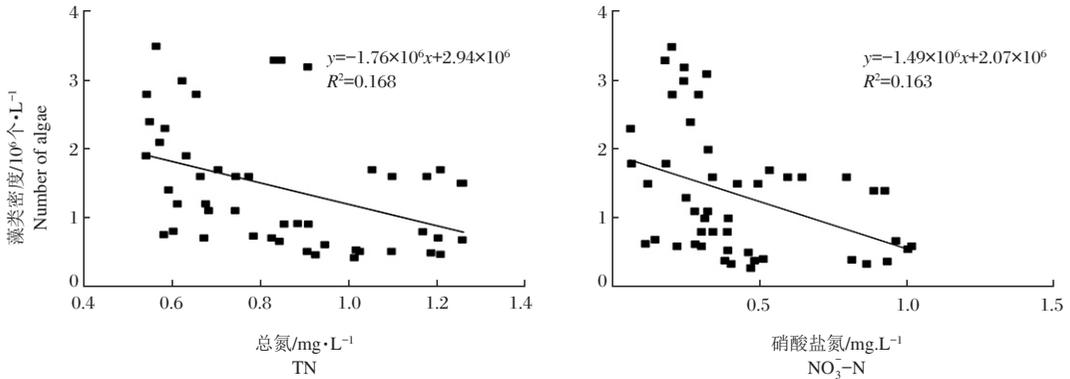


图3 丰水期鄱阳湖氮素浓度与藻类密度的线性关系

Fig.3 Linear relationship between nitrogen concentration and algae density in Poyang Lake during the wet season

总体来看,研究范围内丰水期鄱阳湖主湖区总氮浓度最高值为1.26 mg/L,出现在南部湖区,最低值为0.54 mg/L,出现在西部湖区;丰水期鄱阳湖主湖区藻类密度总体范围为 $(0.4\sim 3.5)\times 10^6$ 个/L,最高值出现在西部湖区,最低值出现在东部湖区。硝酸盐氮浓度出现的极值区域和变化趋势与总氮浓度大体相同。各个采样点的藻类数量变化情况与氮素浓度分布情况符合上述氮素

与藻类之间的线性关系,且表现出了相应的负相关性,与本次研究结果相符。

根据藻类密度分析鄱阳湖的营养状态,结果如图4所示。鄱阳湖主湖区贫营养型占比例为0%,中营养型占主湖区的44%,主要以东部湖区、南部湖区为主,各占19%;富营养型占主湖区的56%,主要以东部湖区、西部湖区为主,分别占19%、25%。

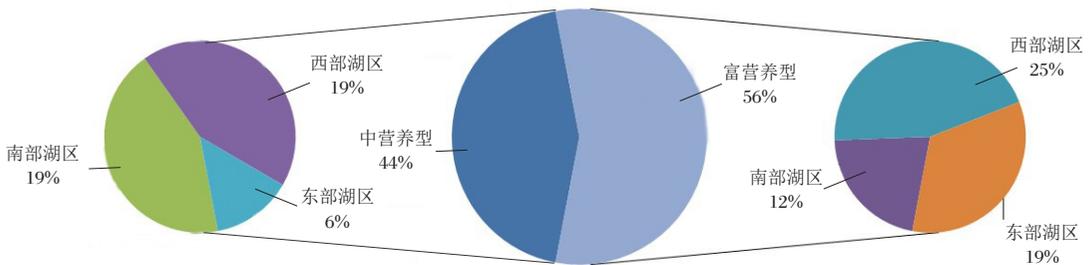


图4 鄱阳湖主湖区藻类营养水平构成

Fig.4 Composition of algal nutrient levels in the main area of Poyang Lake

### 3 讨论

#### 3.1 鄱阳湖主湖区氮素分布特征

湖泊水体元素的空间分布具有一定的不均匀性(章凌曦, 2019)。在空间分布上,鄱阳湖主湖区的氮素浓度分布也呈现一定的区域性(图2)。总氮表现为:南部湖区>东部湖区>西部湖区,硝酸盐氮浓度分布特征与总氮一致,氨氮分布特征表现为:东部湖区>南部湖区>西部湖区。氮素作为藻类的主要营养元素,在其生长过程中,从水体中吸收氮元素合成自身物质,从而降低了水体中氮浓度(邓建才等, 2008),所以藻类的吸收可能是造成西部湖区氮素浓度低于东部湖区和南部湖区的原因。

采样点1~12位于鄱阳湖西部湖区一带,总氮和

硝酸盐氮平均浓度分别为0.59 mg/L和0.18 mg/L,该区域为赣江西支和修水的河口三角洲水域,氮素浓度相对较低的原因,一方面是由于赣江西支和修水入湖水体本身氮素浓度较低,相应的入湖污染物浓度较低;另一方面,从变异系数来看,该流域内硝酸盐氮变异程度表现为各区域最高,变异系数达到了43.18%,受水体扰动变化幅度最大,可能是营养盐浓度分布受到了水体流动的影响,水体平均流速相对较大,高流速有利于湖水中氮素浓度的稀释(顾平和万金保, 2011),导致该区域内氮素浓度的降低。

采样点13~33位于鄱阳湖南部湖区一带,该区域为赣江中支、南支和抚河的河口三角洲水域,总氮和硝酸盐氮的平均浓度分别1.10 mg/L和0.75 mg/L,表现为研究范围内的最高浓度,该水域主要接纳赣江

中支和南支以及抚河的入湖污染物,南昌为赣江的主要流经城市,受人为干扰较大,入湖污染物来源较多,污染负荷大,水质复杂,扩散输移条件不佳,容易造成营养盐的累积;同时,该区域包含鄱阳湖典型的采砂区,尤其在采样点 16、17 附近存在人为采砂活动,且情况比较严重,底质内源释放氮元素,这可能是引起该区域氮素浓度波动并升高的主要原因(张媛等,2015);该浓度分布与陈晓玲等(2013)研究结果存在差异,可能是受采样时间、采样范围以及水体流动因素的影响。

采样点 34~45 位于鄱阳湖东部湖区一带,该区域总氮和硝酸盐氮的平均浓度分别 0.83 mg/L 和 0.32 mg/L,高于西部湖区总氮、硝酸盐氮的平均浓度,东部氮素浓度偏高的原因可能是由于受到了入湖河流功能区的作用,该区域为饶河和信江东支的河口三角洲水域,信江流域是重要的工业基地,污染来源包括印染、化工电镀等,而饶河流经景德镇,该流域主要以农业经济为主,粮食生产和渔业养殖带来的化肥、农药、水产养殖饲料等向河中补充了大量的悬浮物质和营养盐(胡绵好等,2012),这些都会造成严重的氮素污染,是导致鄱阳湖东部湖区氮素浓度高的原因。

### 3.2 氮素对藻类生长的影响

氮素与藻类的生长关系在太湖、滇池、巢湖等湖泊已有较多研究(侯秀丽等,2018;朱广伟等,2018;任文,2019)。彭宁彦等(2018)研究认为鄱阳湖水体氮磷等环境因子是藻类生长的主要控制因子。本次研究表明,鄱阳湖主湖区总氮和硝酸盐氮对藻类的生长影响明显,而氨氮的影响作用并不明显,这可能与藻类优先吸收氨氮有关(韩菲尔,2019)。

丰水期鄱阳湖主湖区藻类的密度与氮素浓度存在相对动态变化关系,具体表现为在鄱阳湖东部湖区、西部湖区的总氮浓度相对较低,藻类密度较高,南部湖区总氮、硝酸盐氮浓度相对较高,藻类密度相对较低,硝酸盐氮浓度与藻类生长关系与总氮类似,均与藻类密度表现出了一定的负相关性。产生该结果的原因:一是在较低氮磷浓度的水体中,微囊藻容易成为优势种,宋玉芝等(2018)在藻类生长实验中进行了验证,该实验结果在一定程度上解释了目前鄱阳湖藻类的生长现状,即藻类的生长繁殖会受到氮磷浓度的影响,表现为一定浓度范围内微囊藻密度随氮素浓度的增加而不断减少,进而表现为氮素与藻类的负相关;二是由于氮素是藻类生长繁殖所需物质,随着藻类增长对于营养物质需求

的不断加大,消耗了大量的氮素,使得氮素浓度逐渐降低,即表现为藻类密度与氮素浓度的负相关性;三是相较于氮素与藻类生长关系的许多室内模拟实验,本次研究中丰水期鄱阳湖主湖区的氮磷浓度不高,全湖总氮的最高浓度为 1.26 mg/L,硝酸盐氮的最高浓度为 1.01 mg/L,总磷变化为 0.03~0.16 mg/L;而江艳等(2006)在藻类生长的相关研究中认为,硝酸盐氮在 3.75~75.00 mg/L 时,藻类的生长与氮浓度成正比关系,该实验结果反映了目前鄱阳湖藻类的生长现状,即鄱阳湖氮素浓度对藻类的初期生长或繁殖产生了一定程度的抑制作用而表现为负相关。

### 3.3 藻类对鄱阳湖富营养化的影响

研究发现,丰水期鄱阳湖主湖区藻类密度与氨氮浓度相关性不明显,藻类密度与总氮在  $P < 0.01$  水平上表现为显著负相关性,与硝酸盐氮在  $P < 0.05$  水平上表现为显著负相关性,该结论与陈学民等(2012)对青海湖的氮素分布与藻类生长相关性类似。根据浮游藻类密度评价法进行级别判定(Viličić, 1989):藻类密度  $< 3 \times 10^5$  个/L,水体为贫营养型;藻类密度  $(3 \sim 10) \times 10^5$  个/L,水体为中营养型,藻类密度  $> 10 \times 10^5$  个/L,水体为富营养型。本次调查结果表明,鄱阳湖已经存在富营养化风险,东部和西部湖区较为严重,与温春云等(2020)的研究结论一致。鄱阳湖丰水期由中营养状态向富营养化过渡,藻类的去除成为了湖泊水环境治理的重要课题,丰水期各区域入湖污染物的控制相应成为鄱阳湖富营养化治理的关键。

### 参考文献

- 陈晓玲,张媛,张琰,等,2013. 丰水期鄱阳湖水体中氮、磷含量分布特征[J]. 湖泊科学, 25(5):643-648.
- 陈学民,朱阳春,罗永清,等,2012. 青海湖氮素分布特征及其对藻类生长的影响[J]. 安全与环境学报, 12(2):119-123.
- 代亮亮,李莉杰,何梅,等,2020. 贵州草海秋季浮游植物群落结构与水质因子的关系[J]. 水生态学杂志, 41(2): 62-67.
- 邓建才,陈桥,翟水晶,等,2008. 太湖水体中氮、磷空间分布特征及环境效应[J]. 环境科学, 29(12):3382-3386.
- 邓开开,李奕璇,方芳,等,2021. 营养盐对藻类生长影响的原位实验研究[J]. 土木与环境工程学报, 43(4):162-175.
- 顾平,王金保,2011. 鄱阳湖水文特征及其对水质的影响研究[J]. 环境污染与防治, 33(3):15-19.
- 韩菲尔,2019. 太湖水体浮游植物氮素吸收过程及其影响因素[D]. 苏州:苏州科技大学.
- 侯秀丽,苑春刚,李学平,等,2018. 滇池氮磷浓度变化对蓝、绿、

- 硅藻年际变化的影响[J]. 水生态学杂志,39(1):16-22.
- 胡春华,2010. 鄱阳湖水环境特征及演化趋势研究[D]. 南昌:南昌大学.
- 胡春华,施伟,胡龙飞,等,2012. 鄱阳湖水利枢纽工程对湖区氮磷营养盐影响的模拟研究[J]. 长江流域资源与环境, 21(6):749-755.
- 胡绵好,袁菊红,卢福财,等,2012. 鄱阳湖典型区段水体氮磷等污染发生频率与成因特征研究[J]. 水资源与水工程学报, 23(1):14-17.
- 黄爱平,2018. 鄱阳湖水文水动力特征及富营养化响应机制研究[D]. 北京:中国水利水电科学研究院.
- 江艳,甘旭华,唐欣昀,等,2006. 氮磷营养因子对赤潮异弯藻生长的影响[J]. 应用生态学报, 17(3):557-559.
- 蒋鑫艳,李畅游,史小红,等,2019. 乌梁素海叶绿素a的时空分布及其与环境因子的关系[J]. 生态环境学报,28(5):964-973.
- 彭宁彦,戴国飞,张伟,等,2018. 鄱阳湖不同湖区营养盐状态及藻类种群对比[J]. 湖泊科学, 30(5):1295-1308.
- 任文,2019. 巢湖蓝藻水华影响因素分析[J]. 生态环境与保护, 2(6):43-44.
- 宋玉芝,丰叶,王锦旗,等,2018. 水体及沉积物氮磷水平对附植藻类的影响[J]. 环境科学学报, 38(12):4721-4727.
- 孙鑫,李兴,李建茹,2019. 乌梁素海全季不同形态氮磷及浮游植物分布特征[J]. 生态科学,38(1): 64-70.
- 温春云,刘聚涛,胡芳,等,2020. 鄱阳湖水质变化特征及水体富营养化评价[J]. 中国农村水利水电, (11):89-94.
- 许海,陈洁,朱广伟,等,2019. 水体氮、磷营养盐水平对蓝藻优势形成的影响[J]. 湖泊科学, 31(5):1239-1247.
- 张媛,望志方,张琰,等,2015. 鄱阳湖丰水期不同底质类型下氮、磷含量分析[J]. 长江流域资源与环境, 24(1):135-142.
- 章凌曦,2019. 基于 ArcGIS 的皖江经济带河流水质特征及空间分布分析[J]. 环境保护前沿, 9(3):511-519.
- 赵文,2005. 水生生物学[M]. 北京:中国农业出版社.
- 周凤霞,2005. 淡水微生物图谱[M]. 北京:化学工业出版社.
- 朱广伟,秦伯强,张运林,等,2018. 2005-2017年北部太湖水体叶绿素a和营养盐变化及影响因素[J]. 湖泊科学,30(2): 279-295.
- Huang W, Zhu X, Zeng J, et al, 2012. Responses in growth and succession of the phytoplankton community to different N/P ratios near Dongtou Island in the East China Sea[J]. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 434/435: 102-109.
- Li G, Wu Z B, Hou Y S, et al, 2006. Nitrogen biotransformation and its relative microorganism in aquaculture waters[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 14(1):11-15.
- Meng S L, Qiu L P, Hu G D, et al, 2012. Effect of Nitrogen and Phosphorus Ratios on Growth and Competition of Two Blue-green Algae[J]. Journal of Agro-Environment Science, 31(7):1438-1444.
- Ross M E, Davis K, Mcoll R, et al, 2018. Nitrogen uptake by the macro-algae *Cladophora coelothrix* and *Cladophora parriaudii*: Influence on growth, nitrogen preference and biochemical composition[J]. Algal Research, 30:1-10.
- Viličić D, 1989. Phytoplankton population density and volume as indicators of eutrophication in the eastern part of the Adriatic Sea[J]. Hydrobiologia, 174(2):117-132.

(责任编辑 万月华)

## Nitrogen Distribution and Its Influence on the Algae Community of Poyang Lake in the Wet Season

LI Yan-hong<sup>1</sup>, WANG Xue-man<sup>2</sup>, XU Jun-kai<sup>1</sup>, HU Chun-hua<sup>2</sup>

- (1. Jiangxi Provincial Key Laboratory of Water Resources and Environment of Poyang Lake, Jiangxi Academy of Water Science and Engineering, Nanchang 330029, P.R. China;  
2. Key Laboratory of Poyang Lake Environment and Resource Utilization, Ministry of Education, School of Resource & Environment, Nanchang University, Nanchang 330029, P.R. China)

**Abstract:** Nitrogen is one of the primary nutrients for algae growth. Therefore, changes in nitrogen content directly affect the reproduction and growth of algae. In this study, we explored the spatial and temporal distribution pattern of nitrogen levels in Poyang Lake during wet season and analyzed its relationship with algae and the lake eutrophication process, aiming to provide theoretical evidence for controlling the eutrophication of Poyang Lake. A systematic investigation of algae density and nitrogen content in Poyang Lake was carried out at 45 sampling sites in July 2017; Sites 1–12 located in the western area of Poyang Lake; Sites 13–33 located in the southern area of Poyang Lake; Sites 33–45 located in the eastern area of Poyang Lake. One-way ANOVA was used for the significance analysis and the Pearson correlation coefficient method was used to analyze the relationship between water environmental parameters. Results show that total nitrogen, nitrate nitrogen and ammonia nitrogen in the main lake area of Poyang Lake were affected by exogenous inputs and, during the wet season, their concentration ranges were 0.54–1.26, 0.06–1.01, and 0.08–0.30 mg/L, respectively. The highest values of total nitrogen (1.26 mg/L) and nitrate nitrogen (1.01 mg/L) occurred in the southern area of the lake, and the lowest values (0.54 mg/L and 0.06 mg/L, respectively) occurred in the western area of the lake. The concentration of ammonia nitrogen decreased from south to north, within a relatively small range. The spatial distribution of algal density followed the pattern: western area > eastern area > southern area. Algal density was not significantly related to the concentration of ammonia nitrogen, but the negative correlation of algal density with total nitrogen and nitrate nitrogen concentrations was significant. The concentrations of the total nitrogen and nitrate nitrogen in the southern area of Poyang Lake were higher, averaging 1.10 mg/L and 0.75 mg/L, respectively, while algae density was lower, averaging  $1.0 \times 10^6$  ind/L. In western Poyang Lake nitrogen levels were lower, with average values for total nitrogen and nitrate nitrogen of 0.59 mg/L and 0.18 mg/L, respectively, while algal density was higher, averaging  $3.5 \times 10^6$  ind/L. Based on algae densities, we concluded that 44% of Poyang Lake is mesotrophic, 56% is eutrophic and that the eastern and western areas of the lake are at a high risk of eutrophication.

**Key words:** nitrogen distribution; algae growth; wet season; Poyang Lake