



周超,柴夏,王朝.藻类聚集对太湖水环境的影响研究[J].黑龙江农业科学,2021(12):23-28.

藻类聚集对太湖水环境的影响研究

周超,柴夏,王朝

(南京中科水治理股份有限公司,江苏南京 210000)

摘要:为探究藻类聚集对湖泊水环境的影响,本研究选取太湖藻类聚集区(竺山湾符渚港近岸带)和开阔水域作为研究区域,从2020年6月—2021年5月定期对该区域水环境开展调查研究,分析了水体溶解氧(DO)、pH、氧化还原电位(ORP)、总有机碳(TOC)、总氮(TN)和总磷(TP)等指标变化趋势。结果表明:藻类聚集区上覆水的叶绿素a含量高于开阔水域,大量的藻类聚集衰亡降低了上覆水DO浓度,使水体DO浓度降低至接近 $0\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,形成缺氧的环境;藻类聚集区上覆水的TOC、TN、TP的浓度大幅上升,最高分别达到112.53, 8.82和 $1.30\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。湖泊藻类聚集导致了湖泊水环境质量的下降,加剧了水体富营养化,因此对湖泊藻类聚集区通过定期打捞减少藻类堆积厚度,可以有效减少藻源性营养盐的输入,减缓水体富营养化进程。

关键词:湖泊;藻类;水环境;富营养化;营养盐

湖泊是地球表层系统各圈层相互作用的联结点和碳、氮、磷等物质迁移和转化的活跃场所^[1-2],是陆地水圈的重要组成部分,与生物圈、大气圈、

岩石圈等关系密切,对区域乃至全球尺度上的物质循环具有重要的影响^[3-4]。但随着经济发展,城镇人口不断增加,工业废水、生活污水的排放量日益增长,造成湖泊污染加剧,生态环境日趋恶化,其中水环境质量下降和富营养化加重是比较突出的问题^[5]。湖泊水环境的污染主要来源包括外源输入与内源释放^[6-7]。外源输入对湖泊水环境有

收稿日期:2021-09-07

第一作者:周超(1986—),男,工程师,从事水生态修复研究。

E-mail:327635910@qq.com。

Cloning and Prokaryotic Expression Analysis of *LcCOMT* from *Leymus chinensis*

WANG Jian-li¹, QU Hong-sheng², YOU Jia¹, ZHONG Peng³, DI Gui-li¹, HAN Wei-bo¹, SHEN Zhong-bao¹

(1. Pratacultural Science Institute, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin 150086, China; 2. China Commerce Ax Ecological Technology Limited Company, Harbin 150070, China; 3. Rural Energy and Environmental Protection Research Institute, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin 150086, China)

Abstract: To understand the molecular mechanisms of lignin synthesis of *Leymus chinensis*, *LcCOMT* was cloned according to RNA-sequencing data obtained in this research. The *LcCOMT* gene contained a 1 065 bp open reading frame(ORF) which encoded 354 amino acids, with the molecular weight of 38.068 kDa and the isoelectric point of 5.62. Bioinformatics analysis showed that *LcCOMT* contained two conserved domains of dimerization domain and O-Methyltransferase domain, but no signal peptide and transmembrane domain. Phylogenetic tree analysis showed that *LcCOMT* was closely related to the species of *Hordeum vulgare* and *Aegilops tauschii*. At the nucleotides and amino acids levels the similarity of the *LcCOMT* gene to the corresponding sequence in *Hordeum vulgare* and *Aegilops tauschii* was more than 95%. Homology modeling showed that the 3D model of *LcCOMT* was similar with that of *Perennial ryegrass* LpOMT1, and sequence similarity reached 87.85%, suggesting that it might have similar function to LpOMT1. Tissue specific analysis showed that *LcCOMT* was expressed in leaves, leaf sheaths, and stem nodes, and with the highest expression in stems. Moreover, the expression of the same stem segment was enhanced along with the elongation. The cloning of *LcCOMT* and the tissue specific analysis had laid the foundation for further study of the function of this gene.

Keywords: *Leymus chinensis*; *LcCOMT*; bioinformatics analysis; real-time quantitative expression

着重要的影响,其主要通过大气沉降、河流携带和风力作用等方式进去湖泊^[8-10],内源主要来自于湖泊内生植物(浮游植物、沉水植物及挺水植物)与藻类衰亡残体碎屑^[11-13]。对于富营养化浅水湖泊,在气候变暖的背景下,尤其是藻类水华暴发时,藻类易受风力、水流等影响,向湖湾及湖滨带聚集,植物林立的静水区易使藻体进入而不易散去,有利于藻类的聚积和长时间的滞留,而不断聚积的藻类对湖泊水环境的影响还尚不明晰。

太湖是我国第三大淡水湖泊,水面面积 2 338 km²,平均水深 1.9 m,由于水浅面广且易遭受人类活动的干扰,正面临气候变暖和富营养化等多重因子的胁迫^[14-16]。湖水升温不仅使得大型水生植物疯狂生长^[17],还会加速藻类繁殖速度^[18-19],极易引发藻类水华暴发。太湖藻类聚集区主要分布在太湖竺山湾、梅梁湾、贡湖湾以及太湖西岸水域^[20-22]。本研究选取富营养化浅水湖泊太湖藻类聚集区(竺山湾符渚港近岸带)和开阔水域为研究区域,对藻类聚集区和开阔水域上覆

水的 DO、pH、ORP、TN、TP、TOC、NH₄⁺-N、NO₃-N、NO₂-N、叶绿素 a 等水环境指标进行观测,研究藻类聚集区和开阔水域水环境变化特征,对比藻类聚集区和开阔水域水环境质量的差异,探究藻类聚集对湖泊水环境的影响。

1 材料与方法

1.1 样品采集与预处理

2020 年 6 月—2021 年 5 月,选取太湖藻类聚集区(竺山湾符渚港近岸带)和开敞湖区(含有极少量藻类)为研究区域(图 1),在 2 个研究区域,分别采集 3 个 100 mL 平行水样,每月 1 次,共计 12 次。现场采用 YSI 水质分析仪同步测量并记录 DO、ORP 值和 pH 等水质参数。采集的水样分别装入提前标记好的 100 mL 棕色玻璃瓶中带回实验室,经过 0.45 μm 的醋酸纤维膜过滤,冷藏保存于 4 ℃ 的冰箱中,待测。将过滤后的滤膜对折,用滤纸吸干滤膜水分,装入聚乙烯提前标记好的自封袋,冷冻保存在-20 ℃ 的冰箱中。

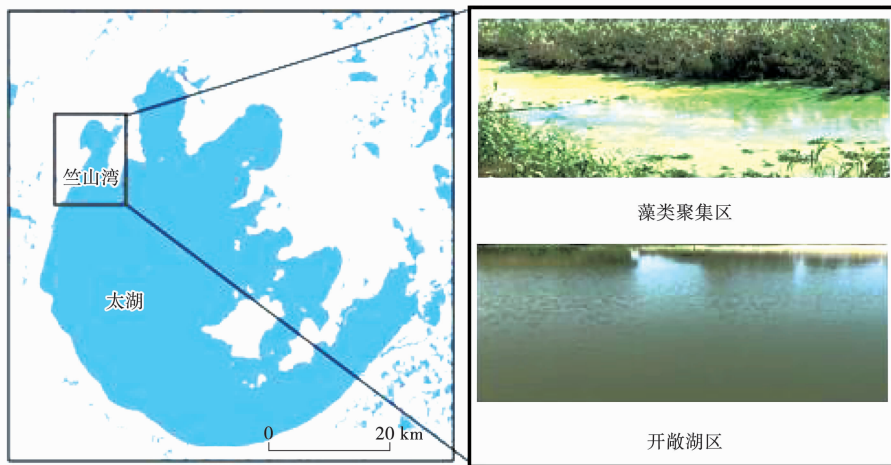


图 1 研究区域示意

1.2 测定项目及方法

TN 采用碱性过硫酸钾氧化-紫外分光光度法(GB 11894-89)测定^[23]; TP 采用钼酸铵分光光度法(GB 11894-89)测定^[24]; TOC 采用 Multi N/C 3100 型总有机碳分析仪(耶拿,德国)测定; NH₄⁺-N 和 NO₃-N 采用水质连续流动分析仪(Auto Analyzer 3,德国)测定。叶绿素 a 采用乙醇分光光度法(HJ 897-2017)测定。

1.3 数据分析

采用 Excel 2019 和 Origin 2018 进行数据预

处理和绘图,采用 SPSS 20.0 进行数据分析。

2 结果与分析

2.1 藻类对上覆水中叶绿素 a 浓度的影响

藻类聚集区上覆水中叶绿素 a 浓度呈现出先升高后降低的趋势,在 6 月达到最高值 4.86 mg·L⁻¹。开阔水域中叶绿素 a 浓度不同月份变化不大,均低于 0.2 mg·L⁻¹(0.02~0.20 mg·L⁻¹)。总体上看,在 12 个月的监测中,叶绿素 a 浓度表现为藻类聚集区高于开阔水域(图 2)。

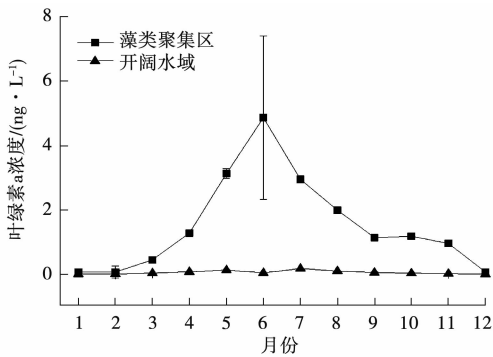


图2 上覆水中叶绿素 a 浓度的变化

2.2 藻类对上覆水 pH、DO 浓度和 ORP 值的影响

2.2.1 pH 藻类聚集区和开阔水域上覆水 pH 变化规律基本一致,但藻类富集区始终低于开阔水域。6—9 月藻类聚集区上覆水 pH 呈现弱酸性,

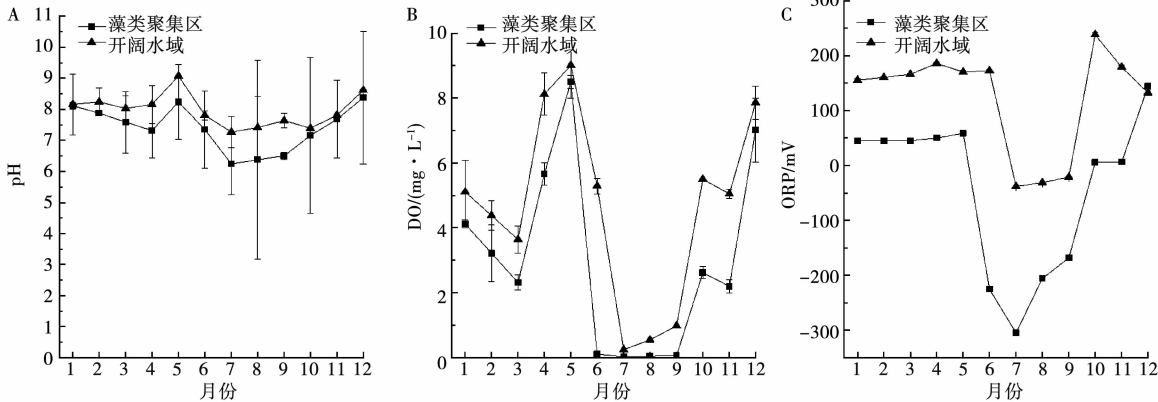


图3 上覆水理化指标变化

2.3 藻类对上覆水中碳浓度的影响

开阔水域上覆水 TOC 的浓度基本维持在 20 mg · L⁻¹,藻类聚集区上覆水 TOC 浓度高于开阔水域,总体呈上升趋势,5 月为最低值,在 12 月达到最大值,为 112.53 mg · L⁻¹(图 4)。

2.4 藻类对上覆水中氮浓度的影响

2.4.1 TN 浓度 藻类聚集区上覆水 TN 浓度均大于开阔水域。藻类聚集区上覆水 TN 浓度在 6 月出现峰值,为 8.82 mg · L⁻¹,开阔水域在 3 月出现峰值,为 5.10 mg · L⁻¹(图 5A)。

2.4.2 NH₄⁺-N 浓度 开阔水域上覆水 NH₄⁺-N 浓度均大于 0 但小于 1 mg · L⁻¹,3 月时最低。藻类聚集区上覆水 NH₄⁺-N 浓度夏季时最高,基本高于 10 mg · L⁻¹,冬季藻时最低,基本低于 7 mg · L⁻¹(图 5B)。

最低值达到 6.24,其余时间水体基本维持在 pH7.16~8.38 的中性或弱碱性状态(图 3A)。

2.2.2 DO 浓度 在冬季,藻类聚集区上覆水 DO 浓度保持在 2 mg · L⁻¹ 以上,在 5 月达到最高值 8.5 mg · L⁻¹,7 月最低值为 0.03 mg · L⁻¹。9 月之后,上覆水中 DO 浓度逐渐上升。开阔水域和藻类聚集区上覆水 DO 浓度变化规律基本一致,藻类聚集区上覆水 DO 浓度低于开阔水域上覆水 DO 浓度(图 3B)。

2.2.3 ORP 值 藻类聚集区上覆水 ORP 值均低于开阔水域。1—5 月藻类聚集区上覆水 ORP 值保持在 0 mV 以上,水体呈现氧化性。从 5 月开始,藻类聚集区上覆水 ORP 值急剧下降,在 7 月达到最低值,为 -304.8 mV(图 3C)。

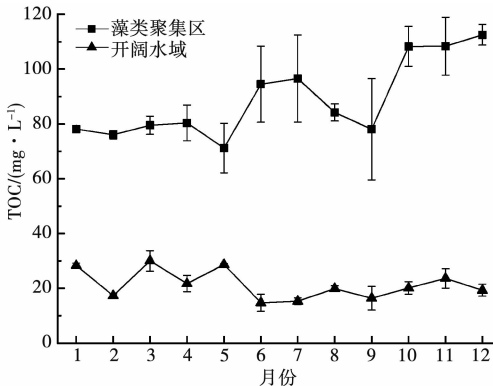


图4 上覆水 TOC 的浓度变化

2.4.3 NO₃⁻-N 浓度 NO₃⁻-N 浓度的变化趋势与 NH₄⁺-N 浓度的变化趋势相反。开阔水域上覆水 NO₃⁻-N 浓度在 3 月达到峰值为 3.81 mg · L⁻¹,之后逐渐下降,8 月最低。藻类聚集区上覆水 NO₃⁻-N 浓度在 1 月达到峰值为 2.51 mg · L⁻¹,在

6 月达到最低值(图 5C)。

2.4.4 $\text{NO}_2\text{-N}$ 浓度 藻类聚集区和开阔水域上覆水 $\text{NO}_2\text{-N}$ 浓度变化趋势基本一致,具体表现为藻类聚集区低于开阔水域。藻类聚集区与开阔水域上覆水 $\text{NO}_2\text{-N}$ 浓度均在 1 月出现峰值,分别为

0.98 和 $1.18 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (图 5D)。

总体上看,在 12 个月的水体理化指标监测中, TN 、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的浓度表现为藻类聚集区高于开阔水域,且 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 浓度差异较大。 $\text{NO}_3\text{-N}$ 和 $\text{NO}_2\text{-N}$ 浓度则表现为开阔水域高于藻类聚集区。

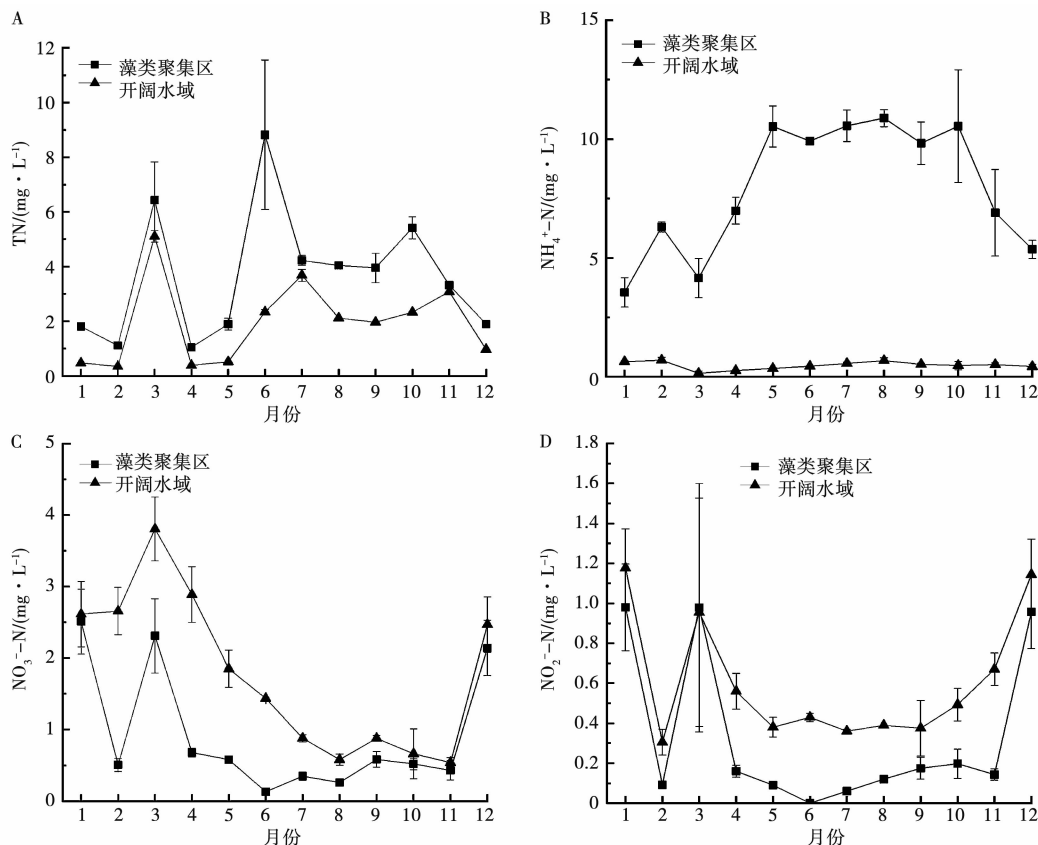


图 5 上覆水中氮浓度变化

2.5 藻类对上覆水中磷浓度的影响

藻类聚集区上覆水 TP 浓度均大于开阔水域。藻类聚集区和开阔水域上覆水 TP 浓度均在 10 月出现峰值,分别为 1.30 和 $0.60 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,其余月份均小于 $0.60 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,说明藻类聚集区和开阔水域上覆水中磷浓度均较低(图 6)。

3 讨论

夏季太湖藻类生长繁殖迅速,受风向和水文的影响,藻类主要聚集在太湖西岸,藻类聚集区上覆水叶绿素 a 含量高于开阔水域,主要是由于藻类生物量过多,藻类在湖泊水体表面聚积,形成藻类聚积层,直接阻止大气向水体的复氧过程;同时,聚积在下方的藻类会逐步死亡分解,进一步消耗水中的 DO,导致水体 DO 下降^[25-26]。当空气中氧气重新进入水体时,DO 含量上升。水体中 DO 含量低,使水体出现缺氧甚至厌氧状态,具有一定的还原性,DO 含量越低,水体还原性越强。在冬季,由于水体中含有藻类数量低,水体呈现氧化性。因此水体中 DO 含量、ORP 值呈现夏季低,冬季高的趋势^[27]。湖泊水体中 pH 呈现夏季低,冬季高的趋势,是因为夏季藻类在衰亡过程中释放出大量有机酸类物质,或分解过程中生成

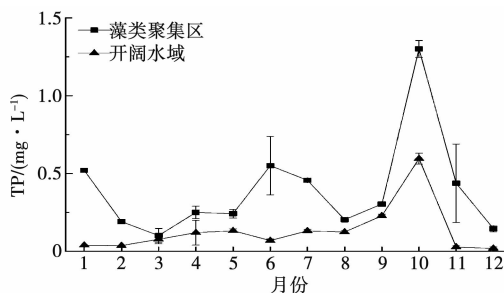


图 6 上覆水 TP 的浓度变化

CO₂, 导致水体 pH 下降^[28-29]。

藻类聚集区上覆水中的碳、氮、磷浓度总体均高于开阔水域。水体中 TOC 浓度增加,可能由于藻类分解出易溶解的水溶性物质,脂肪、蛋白质等大分子有机物分解为氨基酸等小分子,增加了水体中含碳化合物的含量^[30]。水体中 TN 浓度增加是由于藻类蛋白质、叶绿素、脂肪等易分解有机氮向水体中分解释放氮素导致^[31]。随着藻类的衰亡,有机物不断释放至水体,在微生物的作用下有机氮转化为氨态氮,氨氮包括离子氨(NH₄⁺)与非离子氨(NH₃)。亚硝氮是氮循环的中间产物,较不稳定在有氧和微生物的作用下能被氧化为氨氮,在无氧条件下能被还原为硝氮^[32-33]。夏季水体中 TP 浓度上升可能由于磷主要存在于易分解的活性物质中,藻类残体分解向水体释放大量的磷,而冬季藻类生物量降低,藻类分解产生的可溶性磷与 Fe³⁺ 等金属离子发生化学反应形成沉淀,被转化成不溶性磷^[2]。藻类聚集区受藻类衰亡分解影响,水环境质量较差,并且在藻类衰亡分解过程中,大量的藻源性营养盐释放,易加剧湖泊富营养化,因此藻类聚集区可以采取定期打捞藻类物质的措施,减少藻源性营养盐流入湖中,减缓湖泊富营养化进程。

4 结论

本研究对太湖藻类聚集区(竺山湾符读港近岸带)和开阔水域的水体理化指标进行了为期一年(2020 年 6 月至 2021 年 5 月)的调查和对比发现,藻类聚集区上覆水的叶绿素 a 含量高于开阔水域,大量的藻类聚集衰亡分解降低了上覆水 pH、DO 浓度和 ORP 值,水体 DO 浓度甚至降低至接近 0 mg·L⁻¹,形成缺氧的强还原环境;藻类聚集区相较于开阔水域上覆水的 TOC、TN、TP 浓度大幅上升。因此湖泊藻类聚集衰亡分解导致了湖泊水环境质量的下降,加剧了水体富营养化,建议通过定期打捞藻类的措施,减少藻类堆积厚度,有效减少藻源性营养盐的输入,减缓水体富营养化进程。

参考文献:

- [1] STACKPOOLE S M, BUTMAN D E, CLOW D W, et al. Inland waters and their role in the carbon cycle of Alaska [J]. *Ecological Applications*, 2017, 27(5): 1403-1420.
- [2] JING Z, CHEN R, WEI S, et al. Response and feedback of C mineralization to P availability driven by soil microorganisms[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2017, 105: 111-120.
- [3] LI X, CUI B, YANG Q, et al. Detritus quality controls macrophyte decomposition under different nutrient concentrations in a Eutrophic Shallow Lake, North China [J]. *Plos One*, 2012, 7: 16-25.
- [4] COSTANTINI M L, ROSSI L, FAZI S, et al. Detritus accumulation and decomposition in a coastal lake (Acquatina-southern Italy) [J]. *Aquatic Conservation-Marine and Freshwater Ecosystems*, 2009, 19: 566-574.
- [5] 李冰, 杨桂山, 万荣荣. 湖泊生态系统健康评价方法研究进展[J]. *水利水电科技进展*, 2014, 34(6): 98-106.
- [6] JIANG X, ZHANG L, GAO G, et al. High rates of ammonium recycling in northwestern Lake Taihu and adjacent rivers: An important pathway of nutrient supply in a water column[J]. *Environmental Pollution*, 2019, 252: 1325-1334.
- [7] NI Z, WANG S. Historical accumulation and environmental risk of nitrogen and phosphorus in sediments of Erhai Lake, Southwest China [J]. *Ecological Engineering*, 2015, 79: 42-53.
- [8] MAROTTA H, PINHO L, GUDASZ C, et al. Greenhouse gas production in low latitude lake sediments responds strongly to warming [J]. *Nature Climate Change*, 2014, 4(6): 467-470.
- [9] OLEFELDT D, DEVITO K J, TURETSKY M R. Sources and fate of terrestrial dissolved organic carbon in lakes of a Boreal Plains region recently affected by wildfire[J]. *Biogeosciences*, 2013, 10(10): 6247-6265.
- [10] JOSE C C, VICTOR C, CABALLERO S, et al. Chemistry of dry and wet atmospheric deposition over the Balearic Islands, NW Mediterranean: Source apportionment and African dust areas[J]. *Science of the Total Environment*, 2020, 747: 141187.
- [11] YE L, WU X, LIU B, et al. Dynamics and sources of dissolved organic carbon during phytoplankton bloom in hypereutrophic Lake Taihu (China) [J]. *Limnologia*, 2015, 54: 5-13.
- [12] BANKS L K, FROST P C. Biomass loss and nutrient release from decomposing aquatic macrophytes: Effects of detrital mixing[J]. *Aquatic Sciences*, 2017, 79: 881-890.
- [13] ZHANG X H, SUN X X, MAO R. Effects of Litter evenness, nitrogen enrichment and temperature on short-term litter decomposition in freshwater marshes of Northeast China [J]. *Wetlands*, 2017, 37: 145-152.
- [14] HUANG C C, ZHANG L L, LI Y M, et al. Carbon and nitrogen burial in a plateau lake during eutrophication and phytoplankton blooms [J]. *Science of the Total Environment*, 2018, 616: 296-304.
- [15] YVON D G, HULATT C J, WOODWARD G, et al. Long-term warming amplifies shifts in the carbon cycle of experimental ponds [J]. *Nature Climate Change*, 2017, 7: 209-213.
- [16] TRANVIK L J, DOWNING J A, COTNER J B, et al. Lakes and reservoirs as regulators of carbon cycling and

- climate[J]. *Limnology and Oceanography*, 2009, 54(6): 2298-2314.
- [17] MANDY V, SARIAN K, RALF A, et al. Warming enhances sedimentation and decomposition of organic carbon in shallow macrophyte-dominated systems with zero net effect on carbon burial[J]. *Global Change Biology*, 2018, 24:5231-5242.
- [18] RIGOSI A, HANSON P, HAMILTON D P, et al. Determining the probability of cyanobacterial blooms; The application of Bayesian networks in multiple lake systems[J]. *Ecological Applications*, 2016, 25(1):186-199.
- [19] 秦伯强, 高光, 朱广伟, 等. 湖泊富营养化及其生态系统响应[J]. *科学通报*, 2013, 58:855-864.
- [20] 黄鹤勇. 藻类水华聚积分解对臭味物质产生的影响[D]. 南京: 南京师范大学, 2019.
- [21] 陈小峰, 揣小明, 杨柳燕. 中国典型湖区湖泊富营养化现状、历史演变趋势及成因分析[J]. *生态与农村环境学报*, 2014(30):438-443.
- [22] 李娜, 黎佳茜, 李国文, 等. 中国典型湖泊富营养化现状与区域性差异分析[J]. *水生生物学报*, 2018, 42:854-864.
- [23] RAVEH A, AVNIMELECH Y. Total nitrogen analysis in water, soil and plant material with persulphate oxidation[J]. *Water Research*, 1979, 13(9):911-912.
- [24] EBINA J, TSUTSUI T, SHIRAI T. Simultaneous determination of total nitrogen and total phosphorus in water using peroxodisulfate oxidation[J]. *Water Research*, 1983, 17(12):1721-1726.
- [25] LI H, PENG X, CHEN M, et al. Short-term bacterial community composition dynamics in response to accumulation and breakdown of *Microcystis* blooms[J]. *Water Research*, 2011, 45(4):1702-1710.
- [26] MA J, XU X G, YU C C, et al. Molecular biomarkers reveal co-metabolism effect of organic detritus in eutrophic lacustrine sediments[J]. *Science of the Total Environment*, 2020, 698:134-144.
- [27] CHEN Y, LIN H, YAN W, et al. Alkaline fermentation promotes organics and phosphorus recovery from polyaluminum chloride-enhanced primary sedimentation sludge[J]. *Bioresource Technology*, 2019, 294:122160.
- [28] 冯伟莹, 朱元荣, 吴丰昌, 等. 太湖水体溶解性有机质荧光特征及其来源解析[J]. *环境科学学报*, 2016, 36(2):475-482.
- [29] DAI J H, SUN M Y, CULP R A, et al. A laboratory study on biochemical degradation and microbial utilization of organic matter comprising a marine diatom, land grass, and salt marsh plant in estuarine ecosystems[J]. *Aquatic Ecology*, 2009, 43(4):825-841.
- [30] 丰桂珍, 董秉直. 水中藻类溶解性有机物特性研究[J]. *环境科学与技术*, 2016, 39(11):144-149.
- [31] 古励, 郭显强, 丁昌龙, 等. 藻源型溶解性有机氮的产生及不同时期藻类有机物的特性[J]. *中国环境科学*, 2015(9):2745-2753.
- [32] 李萍. 水中氨氮、亚硝酸盐氮及硝酸盐氮相互关系探讨[J]. *上海环境科学*, 2006, 25(6):245-246.
- [33] LIU X R, ZHANG Q W, LI S G, et al. Simulated NH_4^+ -N deposition inhibits CH_4 uptake and promotes N_2O emission in the meadow steppe of Inner Mongolia, China[J]. *Pedosphere*, 2017, 27(2):306-317.

Study on the Effect of Algal Accumulation on the Water Environment of Taihu Lake

ZHOU Chao, CHAI Xia, WANG Chao

(Nanjing Zhongke Water Management Limited Company, Nanjing 210000, China)

Abstract: In order to explore the impact of algae aggregation on the water environment of the lake, this study selected the algae aggregation area of Taihu Lake (the nearshore zone of Fudu Port in Zhushan Bay) and open water as the study area. From June 2020 to May 2021, the water environment in the study area were investigated regularly. The variation trend of dissolved oxygen (DO), pH, REDOX potential (ORP), total organic carbon (TOC), total nitrogen (TN), total phosphorus (TP) and other indexes were analyzed. The results showed that the content of chlorophyll a in the overlying water was higher than that in the open water. A large number of algae aggregation and decay reduced the DO concentration of overlying water, reduced the DO concentration of water body to nearly $0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, and formed an anoxic environment. The concentrations of TOC, TN and TP in the overlying water increased significantly, reaching 112.53, 8.82 and $1.30 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ respectively. The algae aggregation in lakes leads to the decline of water environment quality and intensifies the eutrophication of water body. Therefore, the algal aggregation area in the lake can be regularly salvaged to reduce the thickness of algal accumulation, which can effectively reduce the input of algal derived nutrients and slow down the eutrophication process of water body.

Keywords: lake; algae; water environment; eutrophication; nutrient