

水体藻类和细菌群落受硝态氮影响的研究进展

董观娜

浙江师范大学生命科学学院, 浙江 金华

收稿日期: 2026年2月25日; 录用日期: 2026年3月18日; 发布日期: 2026年3月30日

摘要

氮素作为初级生产力的限制性生源要素之一, 认识其在水华形成过程中的潜在作用至关重要。硝态氮作为一种重要的氮源, 其在水生态系统中的浓度与生态系统稳定性密切相关。针对目前硝态氮对库区水体影响研究较少的现状, 本文综述了硝态氮的来源和形态转化过程, 硝态氮对水库等水体中藻类和细菌群落的影响研究, 硝态氮对水体生态系统的影响。最后, 针对目前研究现状存在的问题, 提出了未来需要深入研究的方向, 为今后进一步研究硝态氮污染对水体生态系统的影响提供理论基础。

关键词

硝态氮, 藻类, 细菌群落, 水库水体, 环境影响

Research Progress on the Effects of Nitrate Nitrogen on Algae and Bacterial Communities in Water

Guanna Dong

College of Life Sciences, Zhejiang Normal University, Jinhua Zhejiang

Received: February 25, 2026; accepted: March 18, 2026; published: March 30, 2026

Abstract

Nitrogen is one of the limiting factors of primary productivity, so it is important to understand its potential role in bloom formation. Nitrate nitrogen is an important nitrogen source, and its concentration in water ecosystem is closely related to ecosystem stability. In view of the fact that there are few studies on the effects of nitrate nitrogen on reservoir water, this paper reviews the source and transformation process of nitrate nitrogen, the effects of nitrate nitrogen on algae and bacteria communities in reservoirs and other water bodies, and effects of nitrate nitrogen on water ecosystem.

Finally, in view of the existing problems in the current research situation, the direction of further research is proposed, which provides a theoretical basis for further research on the impact of nitrate nitrogen pollution on water ecosystem in the future.

Keywords

Nitrate Nitrogen, Algae, Bacterial Community, Water Body of Reservoir, Environmental Impact

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

硝态氮是水体中最常见的一种营养盐，水体中的硝态氮浓度和水质有着直接的关系，因此对水体环境进行监测与分析是非常必要的。我国人均淡水资源十分匮乏，在目前我国大部分地区都存在着不同程度的水体富营养化问题，这不仅影响了水生生物的生长和繁殖，也给人类健康带来了潜在风险。其中最为严重的是水中出现蓝藻水华和赤潮现象。蓝藻水华和赤潮是由于水环境中亚硝酸盐浓度过高引起的，这与水体中富营养化问题密切相关。亚硝酸盐会对水体藻类和细菌群落产生影响，而藻类和细菌又是最重要的固碳、产氧微生物，因此本文研究了硝态氮对藻类和细菌群落的影响，对缓解水体富营养化问题具有重要意义，以期今后更好地保护水库水环境提供参考。

2. 硝态氮的来源和形态转化过程

硝态氮主要来源于农业面源污染和工业废水排放[1]。农业面源污染是指在农业生产过程中，由于不合理使用化肥、农药、除草剂等物质而造成的水体富营养化问题。工业废水主要包括造纸、印染、食品加工等行业排放的废水，由于其含有大量的无机氮和有机物，若未经处理直接排放到环境中，会对水生生物造成一定的危害，对土壤造成一定程度的污染。硝态氮对藻类和细菌群落有强烈的毒害作用，能够引起水体赤潮、水华以及富营养化现象[2]。如赤潮发生时会产生大量有害物质，威胁水生生物的生存环境；水华发生时，会产生大量有害物质，影响水体生态系统；富营养化会导致水中出现大量有害细菌，进而导致水环境恶化。

硝态氮是水体中重要的氮源之一，其形态转化过程主要涉及硝化和反硝化两个过程[3]。硝化是指氨氧化细菌和亚硝酸氧化细菌，再进一步氧化为硝态氮的过程。反硝化是指反硝化细菌通过一系列还原反应将硝态氮还原为氮气释放到大气中的过程。硝化过程包括两个关键步骤：氨氧化和亚硝酸氧化[4]。首先，氨氧化细菌将氨氮氧化为亚硝酸氮。这个过程由氨氧化酶催化，产生亚硝酸和水。然后，亚硝酸氧化细菌进一步将亚硝酸氮氧化为硝态氮。亚硝酸氧化酶催化这一步骤，产生硝酸和水。硝化过程是一个重要的生物地球化学过程，将氨氮转化为硝态氮，使其可供藻类和其他生物利用[5]。反硝化是指在缺氧条件下，反硝化细菌将硝态氮还原为氮气。这个过程是一种还原代谢途径，通过一系列酶的作用，将硝态氮逐步还原为氮气。首先，硝酸还原酶将硝态氮还原为亚硝酸氮。然后，亚硝酸还原酶进一步将亚硝酸氮还原为一氧化氮，产生水。最后，一氧化氮还原酶将一氧化氮还原为氮气，释放到大气中。反硝化过程在缺氧的水体环境中起着重要的作用，不仅将硝态氮转化为氮气，还参与了氮的循环和氮素的去除过程[6]。

硝态氮的形态转化过程对水体中氮的循环和生态系统的健康具有重要影响。硝化过程将氨氮转化为

硝态氮, 提供了藻类和其他生物所需的氮源。反硝化过程则有助于维持水体中硝态氮的平衡, 并减少氮的积累。然而, 当硝化过程过度发生时, 会导致水体富营养化问题, 产生过多的硝态氮, 促进藻类的生长, 可能引发赤潮等环境问题。因此, 对硝态氮的形态转化过程进行深入研究, 并合理管理和控制氮源的输入, 对维持水体生态系统的健康至关重要。

3. 硝态氮对藻类群落的影响

硝态氮是水体中的重要氮源之一, 对藻类群落的生长和组成具有显著影响。藻类是水生生态系统中的基础生物, 对水体的生产力和生态功能起着重要作用。硝态氮的浓度和供应方式可以调节藻类的生长速率、物种组成和群落结构[7]。

硝态氮的浓度是调控藻类生长的重要因素之一。过高的硝态氮浓度可能导致藻类过度生长, 形成赤潮等富营养化现象。目前研究发现, 水体中硝态氮的浓度与水华暴发关系密切, 但不同湖泊及水库水体中硝态氮的浓度和水华暴发之间的关系并不相同。一般认为, 水体中硝态氮浓度越高, 藻类生长越旺盛, 水华暴发几率越大; 而当水体中硝态氮浓度过低时, 藻类生长受到抑制, 水华暴发几率降低。Elias [8]等研究发现, 在库区水库中, 水体中硝态氮浓度在 0.45~0.84 mg/L 之间时, 藻类的生物量与硝态氮浓度呈负相关。在水库不同区域水体中硝态氮的含量及水华暴发情况也不相同。Yan [9]等通过对黄河上游若尔盖高原湖泊水化学特征和藻类生长的研究发现: 水体中硝态氮浓度越高, 水华发生的可能性越大; 而在太湖流域太湖富营养化形成过程中, 硝态氮浓度与水华爆发程度呈正相关。Hyungseok [10]等采用相关性分析发现: 水体中硝态氮浓度与水华暴发指数存在着显著的相关关系, 这说明了水体中硝态氮浓度与水华暴发之间具有一定的联系。

此外, 硝态氮的供应方式也会对藻类群落产生影响。如果硝态氮是连续供应的, 藻类群落可能会维持较高的生长速率, 特定种类的藻类可能会占据优势地位。相反, 如果硝态氮的供应是间歇性的, 藻类群落可能会经历周期性的生长和衰退, 出现较大的群落动态变化[11]。这种供应方式的改变可能导致藻类群落的物种多样性增加, 不同种类的藻类在不同的生长时期占据优势[12]。硝态氮还可以影响藻类群落的生态功能。一些藻类具有氮限制适应能力, 当硝态氮浓度较低时, 它们可以利用其他氮源(如氨氮)来满足其生长需求。这些藻类通常具有较高的竞争能力, 可以在低硝态氮条件下生长并占据优势地位。然而, 一些藻类对硝态氮的利用能力较弱, 对硝态氮浓度较低的水体较为敏感, 其生长可能受到限制。

4. 硝态氮对细菌群落的影响

细菌是水生生态系统中的关键生物, 参与了有机物分解、氮循环和生态功能的发挥。硝态氮对细菌的生长和组成具有显著影响。硝态氮浓度对细菌生长的影响是双重的。适宜的硝态氮浓度可以提供细菌所需的氮源, 促进其生长和代谢活动。一些细菌能够高效地利用硝态氮, 从而在硝态氮富集的环境中占据优势地位。然而, 过高的硝态氮浓度可能导致细菌过度生长, 形成富营养化现象[13]。这种情况下, 某些优势种的数量可能会增加, 而其他细菌的数量可能会减少, 从而降低了细菌群落的生产力, 导致细菌群落的物种组成发生变化[14], 造成细菌群落的物种多样性减少。

硝态氮限制下, 细菌会出现一系列的响应和适应机制, 以应对氮源的限制。这些机制涉及细菌的生理、代谢和基因调控等方面[15]。首先, 细菌在硝态氮限制下会调整其生理特性。当硝态氮浓度降低时, 细菌可能会减缓其生长速率, 以节约能量和资源。此外, 细菌还可能调整其细胞结构和代谢途径, 以适应硝态氮的限制。例如, 一些细菌可能增加其对硝态氮的吸收和利用能力, 通过提高硝酸还原酶的活性来增加硝态氮的还原速率。另外, 一些细菌可能通过改变细胞壁的构成和透性, 以增加对硝态氮的吸收效率。其次, 细菌在硝态氮限制下可能通过调整代谢途径来适应。硝态氮限制可能导致细菌改变其碳源

利用策略。一些细菌可能增加对有机碳的利用能力，以获得更多的能量和碳源来支持生长和代谢。此外，一些细菌可能通过调整代谢途径，例如增加异养代谢的比例，以增加能量的获取和利用效率[16]。最后，细菌在硝态氮限制下可能通过基因调控来实现适应。硝态氮限制可能导致一些细菌启动特定的基因表达程序，以应对氮源的限制。例如，一些细菌可能激活氮代谢相关基因，以增加对硝态氮的吸收和利用能力。此外，一些细菌可能通过调节转录因子的活性和基因表达的调控网络，以适应硝态氮的限制[17]。

5. 硝态氮对水体生态系统的影响

硝态氮对水体生态系统的影响是多方面的。它可以直接影响水体中的藻类和细菌群落的生长、组成和多样性，进而影响水体的生态过程和生态功能。除了对藻类和细菌群落的影响，硝态氮还会对水体生态系统的其他方面产生影响。例如，硝态氮的存在会影响水体中的溶解氧浓度，因为硝化过程会消耗氧气。这可能会对水生动物的生存和繁殖产生影响。此外，硝态氮的存在还可能导致水体中的酸碱度变化，进而影响其他生物的生存和生态过程[18]。

水体生态系统中，各种微生物之间的相互作用对维持其正常的新陈代谢起着至关重要的作用[19]。在一个完整的生态系统中，各种微生物通过相互作用维持生态系统的正常运转。硝态氮污染会破坏水体中的微生物群落，使其多样性和丰富度降低。随着水体富营养化程度的增加，生物群落组成和多样性受到严重影响，水体中生物群落也逐渐丧失平衡，从而导致生态系统崩溃。水体富营养化对生态系统的危害主要有以下几点[20]：溶解氧下降，水环境质量恶化；藻类、浮游动物大量繁殖，造成水环境质量下降；底泥中营养盐积累，影响水生生物生存；藻类大量繁殖会消耗大量溶解氧，使得生物群落衰退；底泥沉积物中有机质积累，导致水体富营养化程度加重。水体富营养化会导致水体中营养物质大量累积，使水质恶化，使人类健康受到威胁。

6. 研究方法与技术进步

传统研究方法和现代分子生物学技术在硝态氮影响研究中有着不同的应用和优势。传统研究方法主要包括水样采集、化学分析和生态学实验[21]。这些方法通常通过采集水样进行化学分析，测量硝态氮的浓度和其他水质参数。生态学实验可以通过添加或减少硝态氮来研究其对水体生态系统的影响。传统方法的优点是成本相对较低，易于操作，并且可以提供关于硝态氮浓度与生态系统响应之间的关系。然而，传统方法往往无法提供详细的分子机制和微观层面的了解，对复杂的生态系统过程的解释有限。现代分子生物学技术在硝态氮影响研究中发挥着越来越重要的作用。这些技术包括基因测序、转录组学、蛋白质组学和分子标记等。通过基因测序和转录组学技术[22]，可以研究硝态氮对藻类和细菌群落的基因表达和代谢途径的调控。蛋白质组学技术可以帮助揭示硝态氮对蛋白质合成和代谢的影响。分子标记技术可以用于追踪硝态氮的转化和利用过程。现代分子生物学技术的优点是可以提供更深入的了解硝态氮影响的分子机制和生态系统的微观变化，从而揭示生态系统中复杂的相互作用和响应。

尽管现代分子生物学技术在硝态氮影响研究中具有许多优势，但仍存在一些挑战和限制。这些技术通常需要复杂的实验设备和专业的数据分析技能，成本较高。此外，对于自然环境中的复杂生态系统，技术的应用可能受到样本收集和处理的限制。因此，综合应用传统研究方法和现代分子生物学技术可以更全面地理解硝态氮对水体生态系统的影响。

7. 问题与展望

目前，学者们在研究水体中硝态氮对藻类和细菌群落的影响实验中，仍存在一些问题，如长期监测数据的缺乏限制了对水库氮浓度动态变化和长期趋势的了解，并且在特定的库区或特定环境条件下，缺

乏对不同库区和环境条件下硝态氮影响的比较研究,限制了对硝态氮影响机制的全面理解。另外,实验室条件下的研究方法虽然能够很好地模拟自然环境下藻类和细菌群落结构,但是由于受到技术、仪器等条件的限制,该方法的应用范围受到很大限制。

因此,未来可能的研究方向是建立长期的监测网络,收集库区水体中硝态氮浓度和藻类、细菌群落的数据,以了解其时空变化和相互关系。同时,进行控制实验,模拟不同硝态氮浓度和供应方式对藻类和细菌群落的影响,以揭示其生态响应机制。开展不同库区和环境条件下硝态氮对藻类和细菌群落的比较研究,以探究硝态氮影响的通用规律和环境因素的重要性。通过分子生态学和功能基因组学等新技术手段,深入研究硝态氮对藻类和细菌群落的作用机制,揭示其对生态系统结构和功能的影响途径。

参考文献

- [1] 马超, 马瑞杰, 李雪, 邹向东, 鄂玉联, 王静, 郑继亮. 肥料中不同硝态氮含量对设施小白菜生长发育的影响[J]. 肥料与健康, 2023, 50(6): 32-34.
- [2] 岳子琪, 王怡, 杨棚利, 周轲, 梁振豪. 景观水体上覆水硝态氮浓度对沉积物中磷释放的影响[J]. 环境污染与防治, 2023, 45(7): 923-927+934.
- [3] 周岩. 冻融过程中农田土壤氮形态转化迁移特征研究[D]: [硕士学位论文]. 长春: 吉林大学, 2022.
- [4] 韩顺. 长期施肥处理对亚硝酸氧化细菌群落组成的影响[D]: [博士学位论文]. 武汉: 华中农业大学, 2020.
- [5] Seitzinger, S.P. (1988) Denitrification in Freshwater and Coastal Marine Ecosystems: Ecological and Geochemical Significance. *Limnology and Oceanography*, **33**, 702-724. https://doi.org/10.4319/lo.1988.33.4_part_2.0702
- [6] Ward, B.B. (2019) Nitrification and Denitrification: Prokaryotes. In: *Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences*, Elsevier, 1-6.
- [7] 许海, 陈丹, 陈洁, 朱广伟, 秦伯强, 朱梦圆, 张运林. 氮磷形态与浓度对铜绿微囊藻和斜生栅藻生长的影响[J]. 中国环境科学, 2019, 39(6): 2560-2567.
- [8] Broman, E., Holmfeldt, K., Bonaglia, S., Hall, P.O.J. and Nascimento, F.J.A. (2021) Cyanophage Diversity and Community Structure in Dead Zone Sediments. *mSphere*, **6**, 16. <https://doi.org/10.1128/msphere.00208-21>
- [9] Yan, M., Chen, S., Huang, T., Li, B., Li, N., Liu, K., et al. (2020) Community Compositions of Phytoplankton and Eukaryotes during the Mixing Periods of a Drinking Water Reservoir: Dynamics and Interactions. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, **17**, Article 1128. <https://doi.org/10.3390/ijerph17041128>
- [10] Kim, H., Kimbrel, J.A., Vaiana, C.A., Wollard, J.R., Mayali, X. and Buie, C.R. (2021) Bacterial Response to Spatial Gradients of Algal-Derived Nutrients in a Porous Microplate. *The ISME Journal*, **16**, 1036-1045. <https://doi.org/10.1038/s41396-021-01147-x>
- [11] 江华波, 王盛锋, 杨峰, 等. 不同浓度硝态氮供应下小麦生长、硝态氮累积及根系钙信号特征[J]. 植物科学学报, 2015, 33(3): 362-368.
- [12] 朱华, 王鑫, 赵福亮, 周浩. 氮磷比对浮游植物群落结构的影响[J]. 生态学报, 2012, 32(11): 3405-3412.
- [13] 高德荣, 孙辉, 赵福亮, 张亚宁. 硝态氮对浮游植物生长和群落结构的影响研究进展[J]. 生态学报, 2008, 28(7): 3401-3410.
- [14] 张亚宁, 李艳, 王鑫, 高贵. 硝态氮对湖泊底泥细菌群落组成和功能的影响[J]. 环境科学学报, 2019, 39(3): 1029-1038.
- [15] 张健, 董星辰, 张鹤, 邓德雷, 罗超越, 张春红, 邱慧珍. 长期施氮对马铃薯田土壤剖面硝态氮积累及细菌群落结构的影响[J]. 甘肃农业大学学报, 2019, 54(1): 30-41.
- [16] Smith, V.H., Joye, S.B. and Howarth, R.W. (2006) Eutrophication of Freshwater and Marine Ecosystems. *Limnology and Oceanography*, **51**, 351-355. https://doi.org/10.4319/lo.2006.51.1_part_2.0351
- [17] Zhang, Y., Li, Y., Wang, X. and Gao, G. (2019) Effects of Nitrate on Bacterial Community Composition and Function in Sediments of a Eutrophic Lake. *Science of the Total Environment*, **650**, 2787-2796.
- [18] Smith, V.H. (2003) Eutrophication of Freshwater and Coastal Marine Ecosystems a Global Problem. *Environmental Science and Pollution Research*, **10**, 126-139. <https://doi.org/10.1065/espr2002.12.142>
- [19] 唐翔宇, 吕伯升, 吴文华. 水生生态系统中的微生物-金属相互作用[J]. 环境科学研究, 1999, 12(3): 28-30.

-
- [20] 邱礼城. 富营养化水体水华应急处理技术分析[J]. 中国高新科技, 2023(22): 95-97.
- [21] 郭芸琿, 于媛媛, 温立柱, 等. 硝态氮影响菊花根系形态结构变化的分子基础[J]. 中国农业科学, 2017, 50(9): 1684-1693.
- [22] 李明, 丁晓东, 王亚兰, 等. 硝态氮对藻类基因表达的调控研究进展[J]. 生态学报, 2020, 40(19): 6971-6982.