

# 营养盐输入驱动下着生藻类群落结构演变路径与冗余性机制探析

刘惠丽

大连海洋大学

DOI:10.12238/eep.v8i3.2563

**[摘要]** 本文主要探讨了营养盐输入对着生藻类群落结构演变路径的影响以及其群落冗余性机制。通过分析不同类型的营养盐输入(如氮、磷的输入)对水域藻类群落的驱动作用,本文揭示了营养盐水平变化如何导致藻类群落结构的动态变化。特别地,本研究从群落冗余性的角度,探讨了在外部环境压力下,藻类群落如何通过内部机制维持群落功能的稳定。结合生态学模型与实地案例分析,本文不仅为藻类群落生态学的深入研究提供了新视角,也为水体富营养化防控及生态恢复提供了理论依据。

**[关键词]** 营养盐输入; 藻类群落; 结构演变; 冗余性机制; 生态恢复

中图分类号: X171.4 文献标识码: A

## Exploration of the Evolution Path and Redundancy Mechanism of Algae Community Structure Driven by Nutrient Input

Huili Liu

Dalian Ocean University

**[Abstract]** This paper mainly explores the impact of nutrient input on the evolution of attached algae community structure and its community redundancy mechanisms. By analyzing the driving effects of different types of nutrient inputs (such as nitrogen and phosphorus) on aquatic algae communities, the study reveals how changes in nutrient levels lead to dynamic changes in algae community structure. In particular, this research investigates how algae communities maintain functional stability through internal mechanisms under external environmental pressures, from the perspective of community redundancy. Combining ecological analysis with field case studies, this paper not only provides new insights into the in-depth study of algae community ecology, but also offers theoretical support for the prevention and control of water eutrophication and ecological restoration.

**[Key words]** nutrient input; Algal community; Structural evolution; Redundancy mechanism; Ecological Restoration

### 引言

向水体输入的营养盐,尤其是氮、磷等营养要素的过量添加,是引起水体富营养化与藻类爆发的主要诱因之一<sup>[1]</sup>。营养盐输入超出限量,会进一步加剧水体的富营养化,可能引发藻类群落结构的剧烈改变,从而波及水生生态系统的功能稳定性,着生藻类是水生态系统中关键的初级生产者,显著影响其群落结构演变的是营养盐水平,而这一影响机制的剖析,关系到水体生态健康的维系与修复。

伴随研究的深入开展,生态学者们渐次察觉到,藻类群落并非轻易随营养盐输入增加而简单扩张或演变为单一优势种群,而是呈现出复杂的动态嬗变过程,在这个过程中,群落的冗余机制成为生态功能稳定维持的关键,冗余性机制依靠群落中不同物种彼此的功能补偿,辅助群落面对营养盐输入变动的环境压

力,维系生物多样性及群落结构稳定。

本文将重点探究营养盐输入影响藻类群落结构的路径,并深度挖掘群落冗余性在这一过程的作用及机制,采用理论解析与实地数据的整合,本文力图对水体富营养化治理及生态恢复给予理论支撑。

### 1 营养盐输入对藻类群落结构演变的影响

#### 1.1 营养盐输入对藻类群落的基础作用

尤其是氮与磷这两者,是影响藻类生长繁衍的核心要素,藻类生长一般会受氮、磷浓度的约束,恰当的营养盐补充能促进藻类的繁衍,但输入过量会引发藻类群落结构的重大改变<sup>[2]</sup>。氮过量输入大多会引起蓝藻或绿藻种群快速扩张,而磷是诸如硅藻等其他藻类的关键生长因子,实验与实地监测研究证实,若氮输入过量的情境下,水体中的蓝藻往往成为优势类别,甚至可能引

发蓝藻水华现象,引起群落生态结构的改变。

不同水体营养盐输入对藻类群落影响模式有别:处于营养盐低水平的条件下,藻类群落一般呈现多样化结构,多个物种一起占据生态位,一同维持水体的稳态;伴随营养盐输入量的增多,尤其是磷过量输入,水体中的藻类群落会快速发生转变,一些优势物种的扩张造成群落物种多样性下降,在部分富含磷质的水体当中,硅藻的生长进程大幅加速,若处于氮磷比失衡的情境下,蓝藻也许会依靠生长优势占据群落主导,进而压缩了其他藻类的生长空间。

### 1.2 营养盐输入与群落结构的动态变化

长时间观察后表明,营养盐输入增多常导致藻类群落由多样性较高的状态渐渐过渡到多样性低的单一群落,高浓度营养盐的投入,尤其是氮和磷的过量添加,往往引起水体出现富营养化,造成蓝藻等优势种群极速繁衍,进一步挤占其他藻类的生存空间<sup>[3]</sup>。在这个过程中,藻类群落多样性急剧下降,看似生物量增加在表面上提高了生产力,但实际上有概率造成生态系统功能的丧失。

以某些湖泊及水库作示例,随着长期营养盐输入量的不断累加,藻类群落演替体现出由繁杂多样到单纯单一的变化,处于富营养化形成的高营养盐环境中,蓝藻成为群落中的优势种群,取代了其他藻类物种,该变化在季节性波动的基础之上尤为明晰:进入春夏季节,藻类进入最优化生长条件阶段,营养盐的输入进一步加速了藻类的快速繁衍,造成短时间内群落结构剧烈波动,此类季节性波动,尤其在具有富营养化特点的水体中,更显著地体现为优势种群的迅猛崛起和其他种群的衰微,进一步强化了群落的单一化特征。

### 1.3 营养盐与物种竞争机制

物种竞争是关乎藻类群落结构演变的核心机制之一,营养盐的补给,尤其是氮以及磷,显著影响物种间的竞争关系,不同藻类的生长速率、繁殖潜力还有适应能力由氮磷浓度把控,由此改变其在群落中的相对数量比例,营养盐增加不只是影响了藻类生长,还可能改变物种之间的竞争优势,推动某些藻类凭借快速繁殖抢占更多生态空间。

蓝藻于高氮环境具有较强适应能力,可借助固氮作用从水体中摄取氮源,而硅藻却缺失这一优势,于高氮条件下,蓝藻常成为优势群体,引发群落多样性下降;于富含大量磷的水体中,过量的磷输入可能推动硅藻生长,进而消耗水中磷源以限制蓝藻的扩张,伴随营养盐输入的更进一步增加,优势种群的壮大逐步抑制别的物种,群落稳定性变得脆弱。

营养盐的输入进一步加剧了物种间的资源争夺,尤其是营养盐成为限制因素的情况下,竞争压力急剧攀升,部分藻类也许凭借快速繁殖去占据更多生长空间,而别的藻类就被排挤,此类竞争不光关乎生长速率,还涉及到光照、营养盐与空间等资源的角逐,引起群落结构显著的变动。

## 2 藻类群落冗余性的形成与表现机制

### 2.1 冗余性在藻类群落中的定义与重要性

群落冗余性作为生态学里刻画物种功能备份与生态系统稳定性的关键概念,落实到藻类群落,冗余性体现为不同藻类物种或功能群体在生态功能方面的互补与替代特性,在水生态系统里面,藻类充当初级生产者,承担光合作用、氮磷吸纳等关键生态职能<sup>[4]</sup>。冗余性机制在某些藻类受环境压力(如营养盐输入过量、温度波动等情况)影响受抑制或死亡时起作用,其他藻类可通过功能补偿机制维持群落整体生态功能,当某一藻类因氮磷过量输入,生长遭遇抑制,其他藻类种群可借助提高生长速率或者增强对其他资源的利用效率,以弥补生态功能的丧失,借此在短时间维持生态系统稳定性。

冗余性不仅是物种多样性的表现,还是在水体富营养化等环境变化压力中维系群落结构及生态功能稳定的重要机理,从藻类群落的角度看,冗余性的存在赋予了生态系统的韧性,令其于外部扰动期间维持功能的持续性,减小生态功能丧失的几率,冗余性机制是群落适应环境改变与维持生态平衡的关键机制。

### 2.2 冗余性机制的生态学解释

冗余性机制源于物种间功能互补与资源利用差异,藻类群落里的各物种,即便在形态结构、代谢途径及生长特性存在差异。但在光合作用、氮磷吸收这类生态功能上多表现出互补态势,处于特定环境的既定条件下,部分藻类或许具备较强的竞争实力,而其他种群说不定处于劣势状态,是冗余性机制的核心关键,即便部分种群受到环境压力约束,其他功能相似的物种可填补资源利用空缺,实现群落功能的平衡局面<sup>[5]</sup>。

若营养盐输入量超过正常水平,蓝藻或许会凭借快速生长成为优势种群,抑制硅藻、绿藻等藻类生长,通过调整代谢途径或资源利用策略,被抑制的物种仍可经由调整代谢或资源利用形式,依旧发挥生态功用,维系生态系统的平稳,利用此功能替代方式,冗余性机制缓解了部分物种功能丧失对群落的影响程度。

冗余性机制跟物种多样性存在密切关联,但其作用并非仅体现在物种数量上,而是物种生态功能上存在的重叠与互补现象,物种间功能冗余情况为群落提供抵御外部扰动的缓冲能力,面对营养盐输入等环境条件变化,能有效维持群落结构的稳固,延缓生物多样性丧失。

### 2.3 冗余性机制与水体富营养化

群落冗余性在水体富营养化进程里起复杂作用,若营养盐(尤其是氮和磷)过量输入了,藻类群落结构会出现明显的变动,于这一进程期间,冗余性机制表现出双重作用,冗余性机制能缓解群落结构的动态起伏,维持水体的基础效能,在氮磷浓度开启升高的初期,藻类群落能借助冗余性机制维持光合作用与生物量的稳定平衡,杜绝群落崩塌<sup>[6]</sup>。

伴随营养盐输入不断增多,冗余性机制的效果慢慢变差,当营养盐水平超出临界阈值,冗余性机制无法有效补偿群落结构变化,甚至有可能进一步加剧群落功能丧失,过量的磷大概会抑制硅藻生长,然而其他种类藻类增长速度提升,然而替代效应有限,蓝藻这类优势物种可能过度增殖,成为优势种,导致群落多样性迅速下降。

冗余性机制衰退会伴随生态系统功能崩溃,倘若藻类群落失去冗余特性,水体透明度下降、氧气消耗上升、毒性物质累积等问题加剧显现,冗余性机制并非无限存在,要是营养盐超出临界阈值,群落自我调节能力显著下降,生态恢复难度急剧上升。

### 3 生态学分析与案例探讨

#### 3.1 案例一: 某湖泊营养盐输入与藻类群落结构的变化

某湖泊长期监测数据说明,伴随氮、磷等营养盐逐年递增,湖泊中的藻类群落呈现出显著的结构变化,处于低浓度氮磷输入的早期阶段,湖泊水体的藻类群落维持高程度的多样性,多个物种包含硅藻和绿藻共同占据生态位,生物量呈平衡态势且透明度高,伴随营养盐输入量的增多,尤其是磷的超量输入,蓝藻开始主导群落结构,硅藻生长逐步陷入受限境地,群落结构体现出显著的单一化走向。

处于这种环境压力之际,藻类群落展现出冗余性机制的关键意义,虽然蓝藻的优势地位正逐步凸显,其他藻类物种未完全绝迹,特定营养盐输入情形里,某些底栖藻类,凭借多样的生长模式与适应举措,维系了其于群落里的生态功用,部分顶替了原本被抑制的物种,群落的冗余性帮助生态系统维持一定的功能稳定,也让藻类群落在特定环境条件之下开展自我调节。

#### 3.2 案例二: 城市水体中的营养盐输入与蓝藻爆发

又一典型案例出现在某城市的内陆水体处,该水体长期受农业及城市污水中氮磷输入的影响,水体里营养盐浓度不断上升,引起蓝藻的爆发性生长,该转变导致群落多样性明显下降,取而代之的是蓝藻的肆意繁殖,既妨碍了水体的生态功能,也对水质及水生态安全形成了威胁。

就这一案例情况而言,冗余性机制呈现出一定的调节效果,即便蓝藻在群落内占据主导地位,但有部分耐高营养盐的藻类物种还是借助功能补偿起到重要作用,某些藻类采用调节光合作用效率或代谢途径的办法,助力群落于蓝藻主导的生态环境里维系一定的生物量与生态功能,伴随营养盐浓度进一步上升,冗余性机制渐渐失灵,引起群落内生态功能逐步减退,水体的透明度及生物多样性急剧降低,群落生态稳定面临潜在威胁。

#### 3.3 讨论与启示

经过对这两个案例的剖析,可以察觉到,营养盐输入对藻类群落结构的影响是一个逐步显露的过程,尤其是在氮磷浓度偏高的情形下,群落往往体现出优势种群扩张,其余种群衰退,冗余性机制虽然一定程度上对群落变化起到延缓作用,但当营养

盐浓度突破某一临界水平时,此机制的缓冲效果明显弱化,群落结构单一化及生态功能丧失速度提升。冗余性并非无约束的生态补偿能力,而是一旦营养盐输入达到既定阈值便会变得脆弱,认清这一点对水体管理尤为要紧,尤其是富营养化高度严重的水体里面,怎样妥当调控营养盐输入,杜绝冗余机制走向失效境地,是保证水体生态健康及群落稳定性的关键环节。

### 4 结语

本文深度分析了营养盐输入导致着生藻类群落结构演变的路径和冗余性机制,剖析了不同营养盐浓度对藻类群落多样性及稳定性的作用效果,若营养盐输入量逐步增高,藻类群落往往展现出从多样性富足到优势种群单一的转变,冗余性机制可缓和这一变化,但随着营养盐输入不断加大,冗余性机制渐次失效,营养盐浓度及种类对藻类群落的影响具复杂性,于不同水体和空间尺度下,冗余性机制表现出差异性,未来研究需更多关注营养盐输入的阈值效应及其对群落功能的长远意义,尤其是不同生态背景下群落结构的演化规律。

#### [参考文献]

- [1]王占金,李玲玲,张文静,等.黄河口海域浮游植物群落结构演变趋势及影响因素[J].环境污染与防治,2025,47(02):114-122.
- [2]梁瀚林,于晓杰,史洁,等.大气沉降和河流输入对渤、黄海营养盐及叶绿素a浓度影响的数值研究[J].中国海洋大学学报(自然科学版),2025,55(02):103-113.
- [3]廖沛涵,蔡永久,宋翠萍,等.京杭大运河苏北段着生藻类群落结构及完整性评价[J].生态科学,2024,43(06):169-179.
- [4]宋倩,丁嘉苇,尹卫,等.青海玛柯河丰水期着生藻类多样性及其与水环境因子的关系[J].青海大学学报,2024,42(4):1-9.
- [5]尚坤钰,韩毓,高欣,等.金沙江上游主要支流着生藻类群落的空间格局及其影响因子[J].湖泊科学,2024,36(005):1392-1406.
- [6]张亚平,万宇,聂青,等.湖泊水体中氮的生物地球化学过程及其生态学意义[J].南京大学学报(自然科学),2016,52(01):5-15.

#### 作者简介:

刘惠丽(1997--),女,汉族,山东禹城人,研究生,研究方向:水生态学。