

湖泊与水库原生动物多样性与纬度、海拔的关系分析

王 奇

云南师范大学地理学部, 云南 昆明

收稿日期: 2026年3月10日; 录用日期: 2026年4月12日; 发布日期: 2026年4月24日

摘 要

原生动物是水生态系统里的微型真核生物, 它对环境的改变十分敏感, 是水生态健康的关键指示物。本文以中国的308个水体(其中有132个湖泊以及176座水库)为依据, 这些水体包含同一水体不同时间段的数据, 进而解析原生动物多样性与地理因子(如纬度以及海拔)之间的关联。借助ArcMap获取水体的经纬度以及海拔相关信息, 运用GetData软件提取文献里的物种丰富度数据并开展标准化操作, 同时运用Python进行一元线性回归和散点图的分析。结果表明, 原生动物的种数会伴随纬度以及海拔的逐渐升高而大致呈下降态势, 其中湖泊方面的下降幅度比水库的更高。湖泊中的原生动物群落结构呈现相对均衡的状态, 且优势类群具有较为多样的特点; 水库因处于静水环境并受人工调控作用, 其物种数量相对保持稳定。低纬度且低海拔的水体里, 原生动物的丰富度处于较高水平, 同时, 水库在一定程度上减轻了高纬度与高海拔对多样性存在的相关性方面的影响。研究显示, 纬度以及海拔可能与水温, 溶解氧, 营养盐水平和原生动物群落结构存在关联, 且湖泊与水库在多样性格局方面有明显差异。本文为在不同水体类型中依循地理梯度开展的生物多样性保护及管理事宜提供具有科学性的依据。

关键词

原生动物, 多样性, 湖泊, 水库, 纬度, 海拔

Analysis of the Relationship between Protozoan Diversity in Lakes and Reservoirs and Latitude and Altitude

Qi Wang

Faculty of Geography, Yunnan Normal University, Kunming Yunnan

Received: March 10, 2026; accepted: April 12, 2026; published: April 24, 2026

文章引用: 王奇. 湖泊与水库原生动物多样性与纬度、海拔的关系分析[J]. 环境保护前沿, 2026, 16(4): 598-608.
DOI: 10.12677/aep.2026.164059

Abstract

Protozoans that are microeukaryotic organisms in the water ecosystem and are quite sensitive to environmental changes can be regarded as important indicators of the water ecological health. Based on the data of 308 water bodies in China including 132 lakes 176 reservoirs and data of the same water body at different time periods this paper analyzes the relationship between protozoan diversity and geographical factors namely latitude and altitude. The longitude latitude and altitude information of water bodies is obtained by using ArcMap the species richness data in the literature is extracted by using the GetData software and then standardized and then the simple linear regression and scatter plot analysis are carried out by using Python. As a result the quantity of species of protozoa generally presents a downward trend as latitude and altitude increase and the decrease range in lakes is greater than that in reservoirs. The community structure of protozoa in lakes is relatively balanced and the dominant groups are quite diverse; the quantity of species in reservoirs is relatively stable because of the influence of the static water environment and artificial regulation. The richness of protozoa in water bodies at low latitudes and low altitudes is relatively high and reservoirs to some extent alleviate the relevant impact of high latitudes and high altitudes on diversity. It has been found that latitudes, altitudes and the like as well as water temperature, dissolved oxygen and nutrient levels may have a connection with the structure of protozoan communities. Lakes and reservoirs have very distinct differences in terms of diversity patterns. This article offers a scientific basis for the conservation and management of biodiversity along geographical gradients for different water body types.

Keywords

Protozoa, Biodiversity, Lakes, Reservoirs, Latitude, Altitude

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

1.1. 研究背景

作为淡水生态系统关键构成部分的湖泊与水库，它们不仅为人类提供饮用水，开展灌溉以及提供渔业资源，还承担调节气候，维系生物多样性以及净化水体等生态层面的功能。湖泊一般出现在自然地形较低洼的地方，其水体具有相对较高的稳定性，生态系统的结构既复杂又多样；水库大多是通过人工筑坝截流形成，具备较强的水文调控能力，但是水体的水位，流量以及营养物质分布会明显受到人为管理的影响[1][2]。天然水体与人工水体存在差异，这导致二者在物质循环，能量流动以及生态服务功能等方面展现出不同的特征和规律[3]。

浮游动物，特别是原生动物的 Protozoa，是水体微食物网的关键构成要素。原生动物会摄取微型藻类，细菌以及溶解有机物，借助此将初级生产者所固定的能量传递至高营养级，并且在物质循环以及生态净化的过程中也有所参与[4]-[6]。在湖泊以及水库之中，原生动物的群落结构与多样性会直接对浮游动物的总生物量以及生态功能产生影响，这一点在相关文献[6][7]中有体现。研究表明原生动物具有多方面的重要作用，其一在于能够对水体中的悬浮物以及营养盐浓度起到调节的作用，其二则是可以通过食物链产生的效应来助力高营养级生物的生产力得以维持，这是相关研究所得出的结论[8]。所以原生动物多样性产生的变化，不只是对水体生态状况予以体现，而且对于淡水生态系统功能的维持也具有重大意义[9]。

1.2. 国内外研究现状

近年来,关于纬度和海拔对水体生物多样性的影响已成为生态学研究的重要方向。地理因子通过调控水温、光照和营养盐分布,间接影响原生动物和其他浮游动物群落的分布及多样性[10][11]。例如,在黄河源区白河流域,高海拔地区的原生动物群落呈现明显季节性变化,其多样性与水温、溶解氧及水深密切相关[11]。在内蒙古高原的乌梁素海与岱海研究中,原生动物种数在低海拔湖泊(乌梁素海)显著高于高盐度、高海拔湖泊(岱海),提示地理因子对原生动物多样性具有调控作用[8]。此外,全球及区域尺度研究也显示,湖泊和水库中浮游动物的物种组成、功能群和生物量均随纬度和海拔呈梯度分布[10]。

关于湖泊与水库差异的研究主要集中在水文调控、营养物质分布和生物群落结构方面。水库因水位调控及截流作用,水体悬浮物和营养盐沉积特征明显不同于天然湖泊,其浮游动物群落对水位、水温及营养盐变化更为敏感[2][12]。研究表明,水库中原生动物群落在季节和水位梯度上存在显著变化,其优势功能群可能与湖泊不同[13]。相比之下,天然湖泊由于水体相对稳定,原生动物群落多样性和功能群组成受自然水文条件和环境梯度调控明显[2][14]。然而,现有研究多为局部湖泊或单一水库的调查,缺乏跨地理尺度、比较湖泊与水库的系统分析[8][10]。

1.3. 研究意义

基于上述背景,本研究旨在探索湖泊与水库原生动物种数与纬度、海拔等地理因子的关系。通过整合不同水体的原生动物数据与地理信息,利用 Python 进行一元线性回归分析,本研究将揭示地理因子对原生动物多样性的影响规律,并比较湖泊与水库在响应模式上的差异[8][9]。本研究具有以下科学与应用意义:为淡水生态系统提供基础数据,阐明原生动物群落多样性与地理因子之间的空间规律;比较湖泊与水库原生动物对环境梯度的响应差异,为水体生态管理、物种保护和生态修复提供科学依据;为理解全球气候变化及人类活动压力下淡水生态系统的响应机制提供理论支持,促进湖泊和水库生态服务功能的优化管理[1][8][9]。

2. 材料与方法

2.1. 数据来源

本研究的数据主要来源于文献和公共数据库。通过系统检索国内外核心期刊和水文生态相关数据库,获取了湖泊与水库中浮游原生动物的种数信息。共整理 784 篇文献,涉及 132 个湖泊和 176 座水库,总计 308 个水体的数据(其中包含了同一个水体不同时间段的数据)。每篇文献记录了原生动物的种数、采样时间、采样深度及水体类型等信息,这些数据为分析水体生物多样性与地理因子的关系提供了基础[15][16]。

在地理信息获取方面,本研究使用 ArcMap 10.8 软件结合数字高程模型(DEM)提取每个水体的经纬度和海拔信息。具体方法为,通过 ArcMap 加载 DEM 数据,将水体位置以矢量点的形式标注,并提取对应的海拔值。经纬度数据主要来源于文献记录和国家水利年鉴的地理坐标,同时通过 ArcMap 进行核对和空间校正,以保证地理信息的精确性[15]。水体的经纬度和海拔数据能够为后续分析纬度、海拔与原生动物多样性之间的关系提供可靠依据。

2.2. 数据处理

在数据处理阶段,首先使用 GetData 软件从文献中的图表提取原生动物种数和水体参数。该软件可以将图形化数据转化为可用的数值表格,避免手工录入误差,提高数据精度[15]。提取的数据包括原生动物种数、采样水体的类型及文献来源标识,为后续整理提供基础。

数据整理过程中,首先对单位进行统一。原生动物种数统一以“种”为计量单位,海拔统一为米(m),纬度统一为度(°)。其次,对缺失值进行处理。对于个别缺失的原生动物种数或海拔数据,采用周边水体均值或线性插值进行填补,以保证数据完整性。对于极端异常值(如海拔或种数显著偏离整体趋势的点),进行合理剔除,以减少对回归分析的干扰。最后,将所有数据整合为统一的数据表,包括水体 ID、类型、经纬度、海拔及原生动物种数,为后续分析提供标准化的数据基础[15] [16]。

2.3. 数据分析方法

数据分析使用 Python 3.10 软件进行,主要使用 Pandas、NumPy、Matplotlib 和 Statsmodels 库进行数据处理、可视化及统计分析[15]。本研究采用一元线性回归方法分析原生动物种数与纬度、海拔之间的关系。回归分析是一种常用的统计方法,可以量化自变量(纬度或海拔)与因变量(原生动物种数)之间的线性关系,并通过回归系数反映其强度和方向[16] [17]。

具体分析步骤如下:首先,对 308 个水体进行整体回归分析,建立原生动物种数与纬度及海拔的一元线性回归模型,计算回归系数、R 平方值及显著性水平(p 值)。其次,分水体类型进行回归分析,分别对湖泊和水库数据进行回归建模,比较不同类型水体在纬度和海拔影响下原生动物种多样性的差异[15] [16]。

为更直观展示关系,本研究绘制散点图,展示原生动物种数随纬度或海拔变化的趋势,并在图中叠加回归直线。散点图和回归线结合的方式,有助于观察整体趋势及不同水体类型间的差异。同时,通过比较 R 平方值和回归系数,可评估纬度或海拔对原生动物种多样性的影响程度。此方法参考了前人在生态统计及一元线性回归分析中的应用实践[15] [16]。

此外,为保证分析结果的科学性和可重复性,所有数据处理和分析步骤均进行记录,并通过 Python 脚本自动化处理,避免手工操作引入的误差。回归模型的结果用于后续讨论原生动物种多样性在不同纬度和海拔梯度上的变化规律,并为水体生物多样性保护提供理论依据[16] [17]。

3. 结果

3.1. 样本描述

本研究共整理了 784 篇文献,涵盖 132 个湖泊和 176 座水库,总计 308 个水体。样本水体分布覆盖中国东部至西部及南北纬度差异较大的区域,纬度范围约为 18°N 至 46°N,海拔范围从平原低地(约 10 m)至青藏高原高海拔湖泊(约 4600 m) [8] [18]-[20]。湖泊样本主要集中在东部平原和中低山地,水库样本分布于全国不同流域,包括黄河、长江及珠江流域[21]-[23]。如图 1 所示,利用 ArcMap 软件本研究所涉及的中国境内湖泊(蓝色点)和水库(橙色点)的地理分布,以及对对应区域的海拔高度(由绿色到红色表示低到高的海拔值)均在地图上展示出来。数据覆盖全国范围,包括高原、平原和沿海地区,总计 308 个水体(湖泊 132 个、水库 176 个),为后续分析原生动物种多样性与纬度、海拔的关系提供基础空间信息。图中插图显示了南海及其附属岛屿区域的水体分布。

在 308 个水体当中,原生动物的种数呈现出明显不同的状况。湖泊中原生动物的种数存在差异,范围为 1 种到 282 种;水库中原生动物的种数亦有不同,区间是 1 种到 103 种,相关情况见于文献[8] [18] [24]中。总体来说湖泊中原生动物的多样性比水库里的略高,但是不同水体类型各自的变异幅度都相当明显。

对水体环境因子进行解析,结果显示水温,总氮(TN),总磷(TP),溶解氧(DO)以及叶绿素 a 浓度和原生动物的种数存在一定程度的关联[21] [25]。湖泊与水库在理化指标方面存在不同之处:水库中宁静的水环境可能会对原生动物种群结构产生作用,使得某些小型种群的比例相对较高;而湖泊的群落结构相对较为均衡,优势类群更为多样化[21]-[23] [25]。

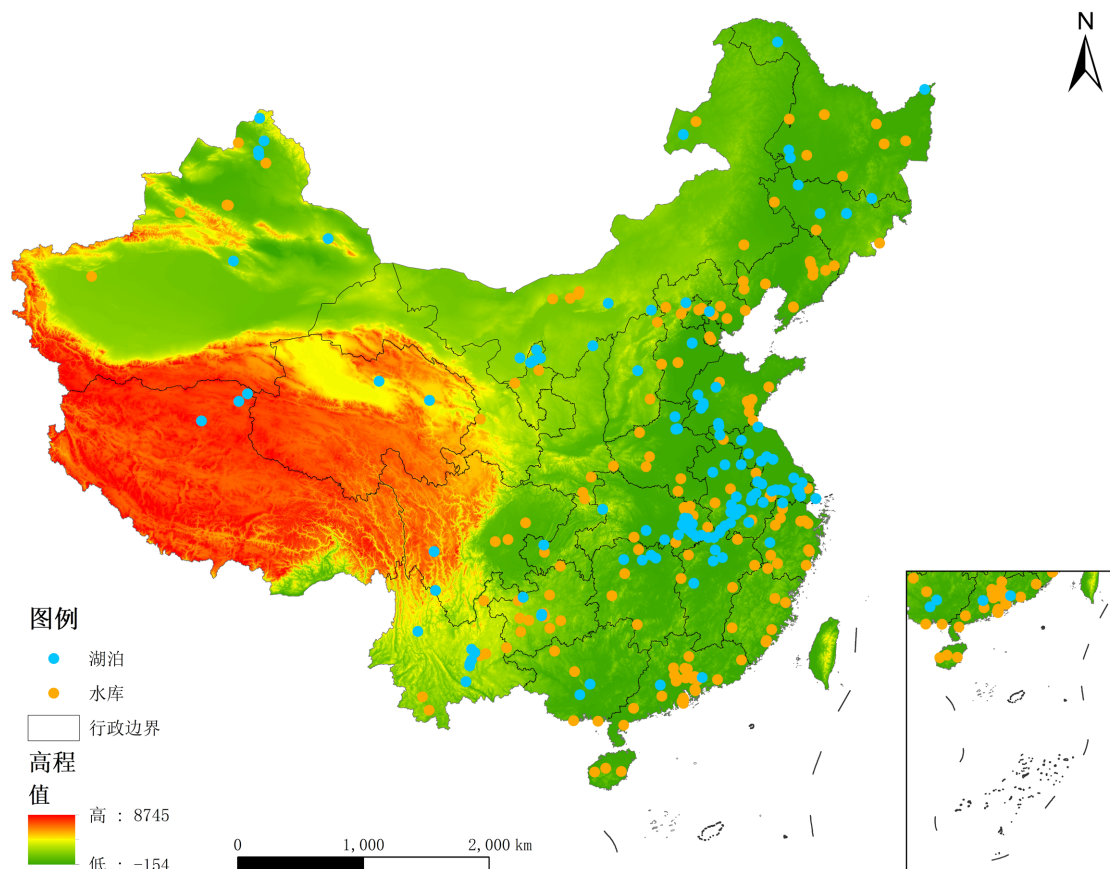


Figure 1. Geographical distribution map of lakes and reservoirs in China
图 1. 中国湖泊与水库地理分布图

3.2. 纬度与原生动物种数关系

通过一元线性回归分析, 湖泊原生动物种数与纬度呈负相关趋势, 回归方程为: $\text{Species} = 421.1112 - 7.8513 \times \text{Latitude}$ ($R^2 = 0.8233$, $p < 0.01$), 表明纬度升高, 原生动物种数整体下降[18] [19] [26]。如图 2 所示, 散点图显示, 大部分低纬度湖泊($18^\circ \sim 25^\circ \text{N}$)原生动物种数较高, 超过 150 种, 而高纬度湖泊($40^\circ \sim 52^\circ \text{N}$)种数多集中在 1~35 种[18] [19] [24]。

水库的回归结果类似, ($R^2 = 0.7980$, $p < 0.01$), 回归方程为 $\text{Species} = 159.0347 - 3.1614 \times \text{Latitude}$ [21] [22] [23]。如图 3 所示, 水库在低纬度地区原生动物种数仍较高, 但中高纬度水库受水库规模、静水环境及人工调控影响, 原生动物种数波动较大。

湖泊与水库的差异分析显示: 如图 4 所示, 低纬度水体中湖泊原生动物多样性高于水库, 而高纬度区域差异不明显, 说明人工水库调控和水文环境可能缓解了高纬度对多样性的限制[21] [22] [24]。整体规律表明, 纬度升高对原生动物种数有负向影响, 但水体类型可调节该效应。

3.3. 海拔与原生动物种数关系

在海拔梯度分析中, 如图 5 所示, 高原湖泊(海拔 2500~3200 m)原生动物种数明显低于低海拔湖泊, 平均种数为 25 种, 而低海拔湖泊种数平均为 235 种[18]-[20]。回归分析显示, 湖泊原生动物种数与海拔呈显著负相关($\text{Species} = 269.6725 - 0.0820 \times \text{Altitude}$, $R^2 = 0.8126$, $p < 0.01$)。散点图显示, 在 3000 m 以上的湖泊中, 多样性显著下降。

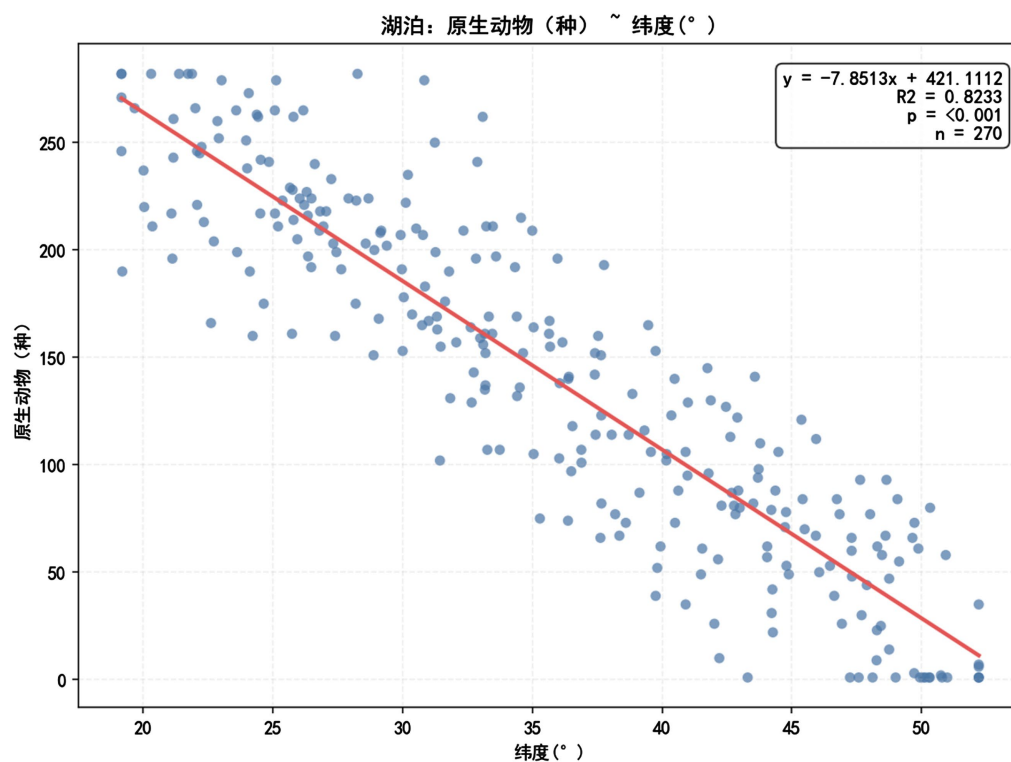


Figure 2. Relationship between protozoan species richness and latitude in Chinese lakes
图 2. 中国湖泊原生动物物种数与纬度的关系

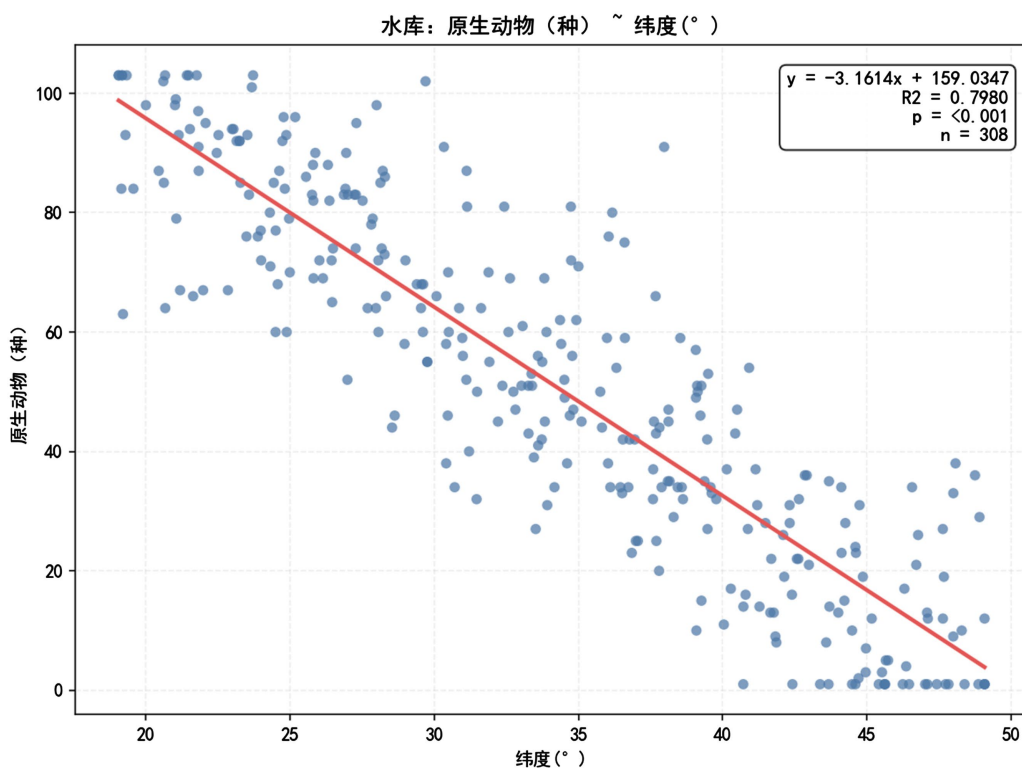


Figure 3. Relationship between protozoan species richness and latitude in Chinese reservoirs
图 3. 中国水库原生动物物种数与纬度的关系

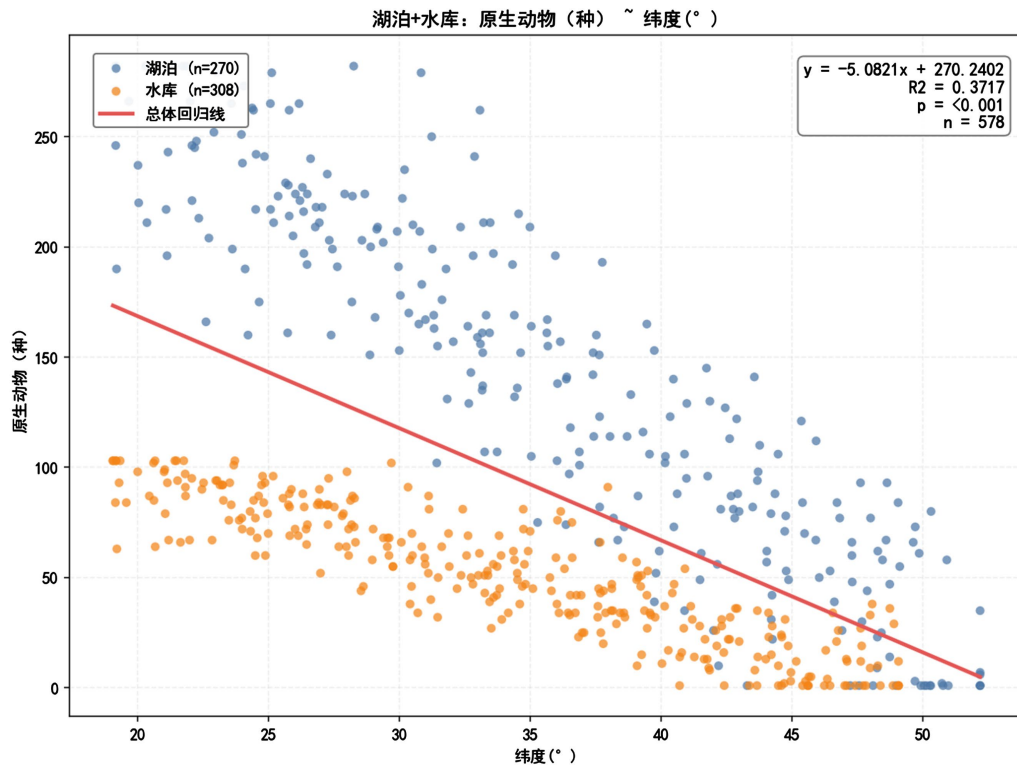


Figure 4. Relationship between protozoan species richness and latitude in Chinese lakes and reservoirs
图 4. 中国湖泊与水库原生动物物种数与纬度的关系

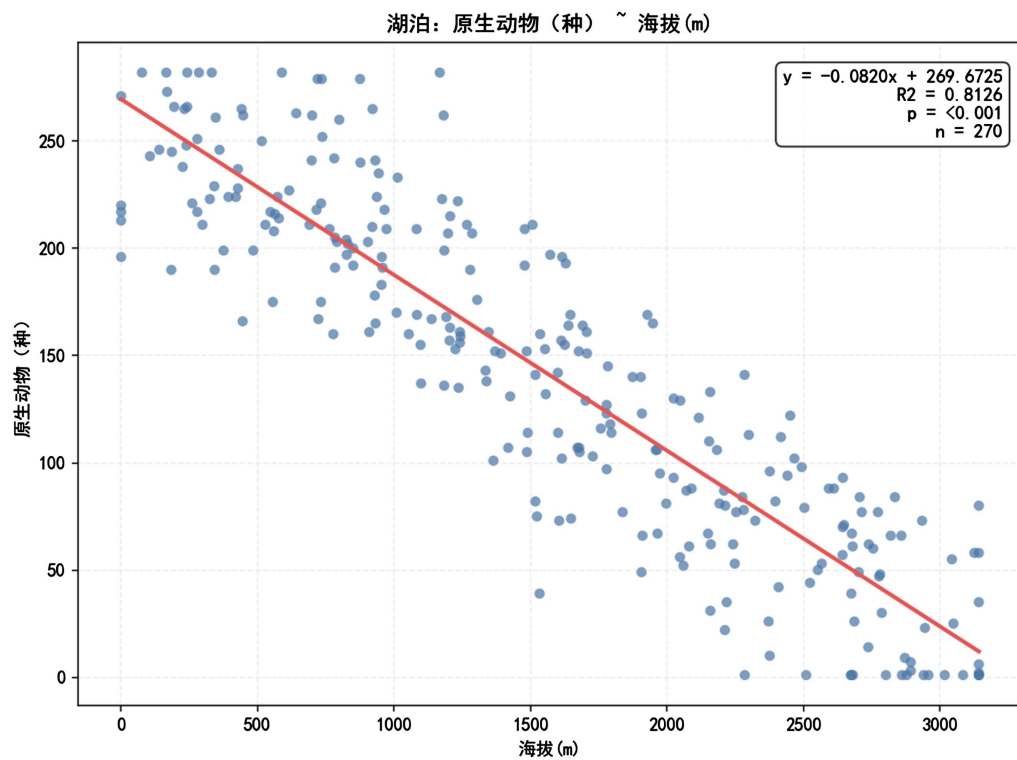


Figure 5. Relationship between protozoan species richness and altitude in Chinese lakes
图 5. 中国湖泊原生动物物种数与海拔的关系

水库表现出不同趋势：如图 6 所示，中低海拔水库(10~1000 m)原生动物种数波动较小，高海拔水库样本有限，但数据表明人工水库可通过水位调节和生态管理维持较高多样性[21]-[23]。水库与湖泊在高海拔地区差异显著，说明人工水库在缓解海拔限制方面具有一定生态效应。

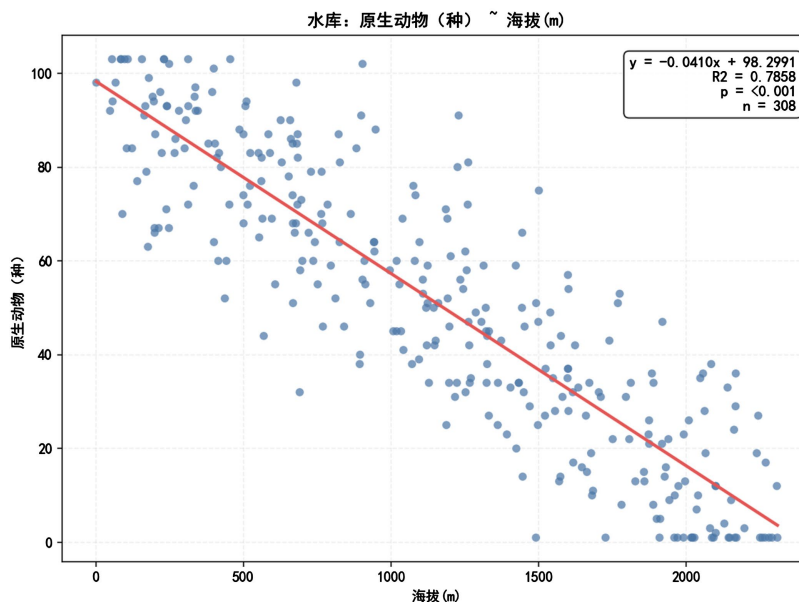


Figure 6. Relationship between protozoan species richness and altitude in Chinese reservoirs
图 6. 中国水库原生动物物种数与海拔的关系

综合规律分析表明，如图 7 所示，湖泊与水库中原生动物多样性均随纬度和海拔升高而下降，但水体类型对高纬度和高海拔区域的缓冲作用显著。湖泊受自然条件限制更大，高原湖泊多样性低，而水库通过水文调控和营养输入在一定程度上维持了原生动物多样性[8] [18] [21] [22] [24]。

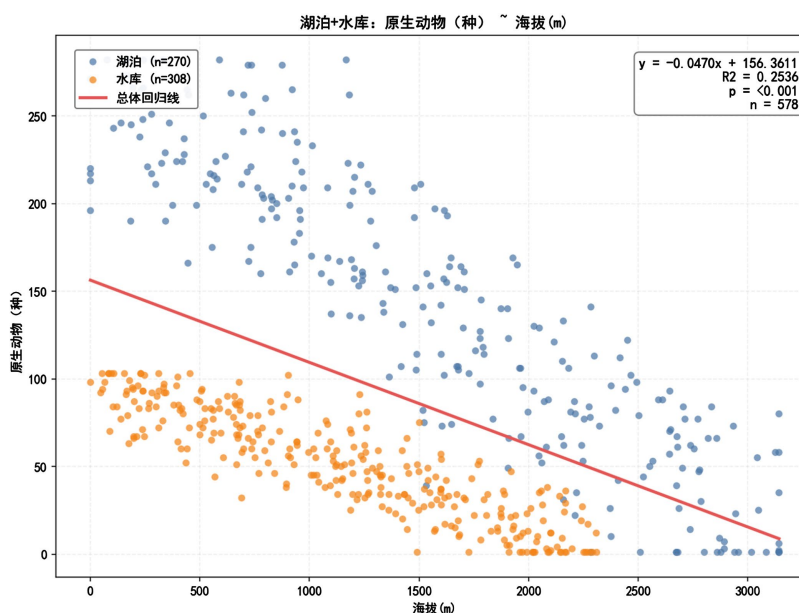


Figure 7. Relationship between protozoan species richness and altitude in Chinese lakes and reservoirs
图 7. 中国湖泊与水库原生动物物种数与海拔的关系

4. 讨论

4.1. 结果分析

本研究结果显示, 原生动多样性受纬度和海拔双重地理因子影响。纬度升高导致水体温度降低和光照时间缩短, 影响水体初级生产者及食物链能量流动, 从而降低原生动物种数[27]-[29]。高纬度湖泊物种组成简单, 优势类群为耐低温的原生动物[18][19][24]。海拔升高则伴随水温降低、溶解氧变化及营养盐减少, 高海拔湖泊生态条件相对苛刻, 限制了物种定殖与繁殖[18]-[20]。

湖泊与水库的差异主要源于水文条件与人工管理。湖泊多为自然水体, 其水文周期和水体物理化学条件受季节、降水和河流输入影响显著, 生态稳定性低, 高纬度或高海拔湖泊原生动物多样性受限制更明显[8][18][24]。相比之下, 水库具有静水特性、水位调控及人工补水等措施, 以及水库选址偏倚等地理因素可减缓环境梯度变化带来的影响, 尤其在低至中纬度地区原生动物种数维持较高水平[21]-[23]。此外, 水库建成后可能增加营养输入和生境异质性, 从而支持较高动物多样性[21]-[23][25]。

4.2. 与已有研究对比

国内研究中, 青海湖流域原生动物多样性呈入湖河流 > 湖滨带 > 主湖区 > 子湖的梯度分布, 与本研究湖泊高海拔多样性低的结果一致[18][30]。南四湖下级湖研究显示, 浮游动物种类数与水温和总氮高度相关, 也支持纬度和海拔通过环境因子间接影响多样性的观点[26][27]。水库方面, 陕西省水库研究发现静水环境和水文条件调控对群落构建影响显著, 本研究水库高纬度和高海拔区域缓冲作用的结果与此吻合[21][22]。

国际研究如 Jeju Strait 和 Mediterranean Sea 的原生动物研究表明, 水温、季节性光照和营养盐是影响群落多样性的主要因素[31][32], 与本研究在湖泊和水库中观察到的地理因子对多样性间接作用的机制一致。创新点在于, 本研究首次将全国范围内超过 300 个水体数据整合, 系统分析了原生动物多样性与纬度、海拔的量化关系, 并比较了湖泊与水库在环境梯度下的差异, 揭示了人工水体对自然地理梯度的调节作用。

局限性在于: 样本时间跨度不同, 部分文献中原生动物调查方法存在差异, 可能影响多样性统计结果; 高海拔水库样本有限, 回归分析的解释力在极端环境下可能偏低; 同时, 仅考虑纬度和海拔, 未完全控制水体理化指标和营养水平对群落的影响[8][18][21][22]。

4.3. 研究展望

本研究对水体生物多样性保护与管理提供了若干启示。首先, 湖泊高纬度和高海拔地区原生动物多样性较低, 需关注高原湖泊生态敏感性, 强化监测和保护措施[18]-[20]。其次, 水库的静水和调控特性可作为生态缓冲手段, 提高人工水体生物多样性水平, 但需综合管理营养负荷与生态连通性[21]-[23]。

未来研究应进一步结合高通量测序与宏基因组技术, 对不同水体类型原生动物功能多样性、生态位和群落构建机制进行系统研究; 同时, 纳入长期监测和多因素模型, 解析纬度、海拔、温度、营养状态与水体连通性对多样性的综合作用, 为水体生态修复与生物多样性保护提供科学依据[8][18][30]。

5. 结论

本研究依托 308 个水体的数据, 对原生动物多样性与纬度, 海拔之间的关联进行全面系统的解析, 所得结果显示: 伴随纬度与海拔的逐步升高, 湖泊以及水库中的原生动物种数均明显减少, 但是湖泊由于受到自然条件的约束更为严格, 在高纬度, 高海拔区域, 湖泊的多样性明显低于水库[18]-[20]。水库群落因静水环境以及水文方面的调控, 呈现出小型化态势, 且多样性处于相对稳定状态[21]-[23]。水体的类

型能够对地理因子对多样性产生的影响进行调节, 高人工干预的水体在一定程度上可以对高纬度以及高海拔对群落多样性造成的限制起到缓冲作用。地理梯度虽是影响原生动物的多样性的重要因素, 但模型较低的 R^2 值说明, 多样性变异中的大部分仍需归因于其他局部环境因子或随机过程。

研究成果为湖泊以及水库中的原生动物的保护和生态管理提供了借鉴, 对于高海拔湖泊而言, 需重对环境变化开展监测工作, 而水库则要进行水位的合理调节以及营养输入的把控, 从而保持原生动物的多样性并维持其生态功能。

参考文献

- [1] 杨军. 水库生态需水的应用[D]: [硕士学位论文]. 成都: 西南交通大学, 2008.
- [2] Wanzhu, L., Baoli, W., Na, L., et al. (2022) River Damming Enhances Ecological Functional Stability of Planktonic Microorganisms. *Frontiers in Microbiology*, **13**, Article ID: 1049120.
- [3] 刘伯娟, 杨家伟, 崔鸣, 等. 基于不同功能需求的湖泊生态水位研究[J]. 人民长江, 2025, 56(9): 134-141.
- [4] Calbet, A. (2026) Roles of Microzooplankton in the Biological Carbon Pump. *Progress in Oceanography*, **243**, Article 103700. <https://doi.org/10.1016/j.poccean.2026.103700>
- [5] Chowdhury, P., Khan, S.J., Sumon, M.A.A., El-Regal, M.A.A., Tayyath, K. and Van Doan, H. (2026) The Role of Planktons in Sustaining the Function and Diversity of Marine Ecosystems: A Systematic Review. *Discover Animals*, **3**, Article No. 9. <https://doi.org/10.1007/s44338-025-00113-7>
- [6] 许隆君. 浮游动物群落变化对水体生态净化效果的影响[J]. 黑龙江环境通报, 2025, 38(12): 33-35.
- [7] 许隆君. 浮游动物介导的农田水体生态净化机制研究[J]. 农业开发与装备, 2025(10): 109-111.
- [8] 马万里. 乌梁素海和岱海的原生动物多样性研究[D]: [硕士学位论文]. 呼和浩特: 内蒙古大学, 2025.
- [9] 袁国庆. 多重环境压力对原生动物群落结构的影响研究[D]: [硕士学位论文]. 大连: 大连海洋大学, 2024.
- [10] 高小云, 李慧. 融合全球湖泊地形与生态功能的综合理论框架研究[J]. 水利水电快报, 2025, 46(9): 9.
- [11] 王司权. 黄河源区白河流域浮游生物时空分布特征及其模式[D]: [硕士学位论文]. 西安: 西安理工大学, 2025.
- [12] 方泽华. 花园水库和大同水库浮游生物群落结构鱼产潜力分析[D]: [硕士学位论文]. 武汉: 华中农业大学, 2024.
- [13] 郭爱环, 练青平, 张爱菊, 等. 千峡湖水库浮游动物种群变化特征及其关键驱动因子研究[J]. 浙江农业科学, 2025, 66(10): 2478-2486.
- [14] 张轶, 白凯, 史李萍, 等. 呼伦湖浮游动物群落时空分布特征及其驱动因子[J]. 水产学杂志, 2025, 38(5): 71-78.
- [15] 杨雄, 曾智. Excel 在一元线性回归分析中的应用[J]. 保山学院学报, 2021, 40(2): 66-73.
- [16] 李会芳. 一元线性回归分析和有效应用[J]. 天工, 2018(3): 87.
- [17] Atici, U. (2010) Prediction of the Strength of Mineral-Addition Concrete Using Regression Analysis. *Magazine of Concrete Research*, **62**, 585-592. <https://doi.org/10.1680/macr.2010.62.8.585>
- [18] 刘瑜, 罗帅, 张鹏, 等. 青海湖流域原生动物群落结构及影响因素研究[J]. 水生态学杂志, 2023, 44(4): 1-9.
- [19] 杨清, 李晓东, 杨胜娟, 等. 雅鲁藏布江中游丰水期原生动物群落多样性及其影响因子[J]. 生物多样性, 2023, 31(4): 100-115.
- [20] 林秋奇, 侯居峙, 韩博平. 青藏高原不同盐度和海拔高度湖泊浮游动物群落结构特征: 气候变化的影响启示[C]//中国海洋湖沼学会. “全球变化下的海洋与湖沼生态安全”学术交流会论文摘要集. 广州: 暨南大学生态学系; 北京: 中国科学院青藏高原研究所, 2014: 116.
- [21] 袁鑫. 陕西省典型水库浮游动物群落结构特征及群落构建机制[D]: [硕士学位论文]. 西安: 西安理工大学, 2025.
- [22] 潘家响. 黔中两座饮用水源地水库浮游生物季节动态特征及群落共存模式的研究[D]: [硕士学位论文]. 贵阳: 贵州师范大学, 2025.
- [23] 马继鑫. 银川市水体浮游生物多样性及其与环境因子关系的研究[D]: [硕士学位论文]. 大连: 大连海洋大学, 2024.
- [24] 熊雪平, 翟东东, 刘红艳, 等. 汉阳水网中 5 个连通湖泊的原生动物群落结构与物种多样性[J]. 海洋与湖沼, 2024, 55(6): 1466-1477.
- [25] 杜婷婷. 永定河浮游动物群落多样性与环境因子的关系[J]. 北京水务, 2022(6): 37-43. 8.

- [26] 刁超. 南四湖下级湖浮游动物群落时空分布特征及模拟研究[D]: [硕士学位论文]. 济南: 济南大学, 2023.
- [27] 田旺. 湖泊浮游生物群落对环境和生物多样性的响应机制[D]: [博士学位论文]. 北京: 华北电力大学, 2017.
- [28] 卢伍阳. 我国不同纬度河口春季浮游动物群落变化趋势研究[D]: [硕士学位论文]. 上海: 上海海洋大学, 2017.
- [29] 卢伍阳, 马增岭, 徐兆礼, 等. 春季我国不同纬度河口浮游动物群落变化趋势[J]. 海洋学报, 2016, 38(10): 83-93.
- [30] 刘瑜. 青海湖流域原生物多样性研究[D]: [硕士学位论文]. 哈尔滨: 哈尔滨师范大学, 2022.
- [31] Min, J. and Kim, K.Y. (2023) Diversity and Assembly of Planktonic Protist Communities in the Jeju Strait, Korea. *Frontiers in Marine Science*, **10**, Article ID: 1225640. <https://doi.org/10.3389/fmars.2023.1225640>
- [32] Piredda, R., Tomasino, M.P., D'Erchia, A.M., Manzari, C., Pesole, G., Montresor, M., *et al.* (2016) Diversity and Temporal Patterns of Planktonic Protist Assemblages at a Mediterranean Long Term Ecological Research Site. *FEMS Microbiology Ecology*, **93**, fiw200. <https://doi.org/10.1093/femsec/fiw200>