

校园周边淡水食物链微塑料富集传递特征及其环境教育应用研究

李永沐

石河子大学生命科学学院, 新疆 石河子

收稿日期: 2026年8月17日; 录用日期: 2026年10月8日; 发布日期: 2026年10月19日

摘要

微塑料作为淡水生态系统中备受关注的新兴污染物, 其沿食物链的迁移行为兼具环境科学意义与社会教育价值。本文以校园周边淡水环境为研究场景, 基于现有文献数据与前期监测成果, 梳理了淡水生态系统中微塑料的分布特征、营养级传递规律及亚致死生态效应, 并重点探讨如何将上述科研成果转化为中学环境教育的探究性课程资源。分析表明, 淡水环境中微塑料以PE、PP和PET为主, 粒径 $< 50 \mu\text{m}$ 的颗粒约占60%, 在近岸、缓流区和沉积区更易富集; 校园周边河流中枝角类、螺类和小型鱼类的文献报道平均富集量(干重)分别为 $0.6 \pm 0.15 \text{ particles/ind}$ 、 $1.2 \pm 0.25 \text{ particles/ind}$ 和 $1.6 \pm 0.30 \text{ particles/g}$, 呈现出随营养级升高而累积浓度上升的趋势。微塑料暴露可导致淡水鱼类体长增长率下降约18%, 肝脏抗氧化酶活性升高约25%, 反映出明显的亚致死胁迫效应。在此基础上, 本文设计了以“采样监测 - 显微鉴定 - 数据分析 - 行动倡议”为主线的中学环境教育课程模块, 旨在通过真实科研数据的教学转化, 提升青少年对微塑料污染认知、生态风险判断与减塑行动参与的综合素养。

关键词

微塑料, 淡水食物链, 营养级传递, 校园环境教育, 课程设计

Characteristics of Microplastics Enrichment and Transfer in Freshwater Food Chain around Campus and Its Application in Environmental Education

Yongshu Li

School of Life Sciences, Shihezi University, Shihezi Xinjiang

Received: August 17, 2026; accepted: October 8, 2026; published: October 19, 2026

文章引用: 李永沐. 校园周边淡水食物链微塑料富集传递特征及其环境教育应用研究[J]. 职业教育发展, 2026, 15(10): 257-264. DOI: 10.12677/ve.2026.1510435

Abstract

As a new pollutant in freshwater ecosystem, microplastics' migration along the food chain has both environmental scientific significance and social education value. Taking the freshwater environment around campus as the research scene, based on the existing literature data and previous monitoring results, this paper combs the distribution characteristics, trophic level transfer law and sublethal ecological effect of microplastics in freshwater ecosystem, and focuses on how to transform the above scientific research results into inquiry curriculum resources for environmental education in middle schools. The analysis shows that microplastics are mainly composed of PE, PP and PET in fresh water environment, and the particles with particle size less than 50 μm account for about 60%, which are easier to be enriched in nearshore, slow flow area and sedimentary area. The average enrichment (dry weight) of cladocera, snails and small fishes in the rivers around the campus were 0.6 ± 0.15 particles/ind, 1.2 ± 0.25 particles/ind and 1.6 ± 0.30 particles/g, respectively, showing an upward trend with the increase of trophic level. Microplastics exposure can reduce the growth rate of freshwater fish body length by about 18% and increase the activity of antioxidant enzymes in the liver by about 25%, reflecting the obvious sublethal stress effect. On this basis, this paper designs a middle school environmental education curriculum module with "sampling monitoring-microscopic identification-data analysis-action initiative" as the main line, aiming at improving teenagers' comprehensive literacy of microplastics pollution cognition, ecological risk judgment and plastic reduction action through the teaching transformation of real scientific research data.

Keywords

Microplastics, Freshwater Food Chain, Trophic Level Transmission, Campus Environmental Education, Curriculum Design

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

微塑料已成为淡水生态系统中不可忽视的新型污染物,其来源广泛、迁移隐蔽、粒径多样,能够在河流、湖泊和湿地等环境中持续累积,并沿食物链发生传递[1]。与海洋环境相比,淡水系统更接近居民生活空间,尤其是校园周边河流、湖滨带和湿地缓冲区,既是污染输入的重要通道,也是生态暴露与公众感知高度交汇的场域。因此,围绕淡水微塑料开展研究,不仅有助于揭示颗粒污染在不同环境介质与营养级之间的分配规律,也能为区域水环境治理提供证据支持。

值得关注的是,微塑料污染的日常性、可视性与可监测性,使其具备了转化为中学探究性课程资源的独特优势。将规范的采样布点、样品筛分、显微观察与数据分析引入课堂,能够帮助学生建立从污染源识别到生态效应判断的完整认知链条,进而理解个人消费行为、区域环境负荷与食品安全之间的内在关联[2]。基于此,本文结合校园周边淡水案例,探讨微塑料在食物链中的传递机制、生态影响及其在环境教育中的应用价值,以期为学校生态教育与公众减塑实践提供参考。

2. 淡水食物链中微塑料的富集现状与教育案例基础

2.1. 淡水生态系统微塑料分布特征及采样方法

淡水生态系统中微塑料主要以 PE、PP 和 PET 为主[1],粒径以 $<50 \mu\text{m}$ 居多,约占 60%,河流断面、

湖滨带与湿地沉积区的丰度差异明显，近岸和缓流区更易富集，其类型占比差异见图 1。采样宜采用网捞法获取表层水体颗粒，并结合沉积物柱采样法追踪底泥累积特征，采样点布设可参照表 1。将中学生纳入现场布点、筛分和记录过程，有助于其理解污染来源与环境过程，强化区域环境认知。

Table 1. Basic information table of microplastics sampling point of freshwater environment
表 1. 淡水环境微塑料采样点基本信息表

采样点	环境类型	采样方法	水深/m	粒径范围/ μm	优势类型	样品量
A 河上游	河流	网捞法	1~2	20~100	PE、PP	12 L
校园周边河流采样点	河流	网捞法 + 柱采样	1~2	10~80	PE、PP、PET	15 L
A 河下游入湖口	河流	网捞法	2~3	15~120	PP、PET	12 L
B 湖滨带	湖泊	网捞法	1	5~60	PE、PS	10 L
C 湿地缓冲区	湿地	沉积物柱采样	<1	5~50	PET、其他	3 cores

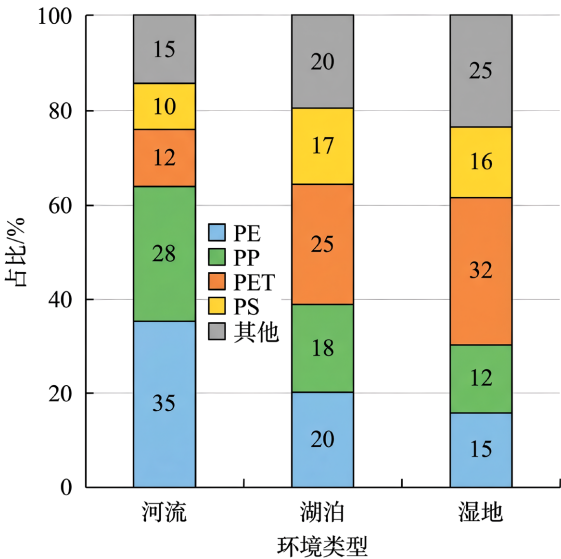


Figure 1. Statistical chart of microplastics types in different freshwater environments
图 1. 不同淡水环境微塑料类型占比统计图

2.2. 校园周边淡水环境微塑料富集案例分析

以 XX 中学旁 XX 河流为样带，可见校园周边淡水生境已成为微塑料输入与生物富集并存的典型场域，枝角类与螺类分别处于浮游和底栖环节，能够较敏感地反映颗粒在不同栖位中的分配差异。监测结果显示(表 2)，枝角类平均富集量为 0.6 个/个体，螺类平均富集量为 1.2 个/个体，说明底栖摄食与沉积物接触增强了微塑料滞留。教学组织中，学生参与布点采样、样品分拣、显微镜鉴定与结果记录，既完成了河流生物样本的基础检测，也在真实情境中建立起对污染来源、生态暴露与日常防控之间关联的认识[3]。

Table 2. Microplastics enrichment of different organisms in rivers around campus (monitoring data, $n \geq 25$, mean standard error)
表 2. 校园周边河流不同生物微塑料富集量(监测数据, $n \geq 25$, 均值 $\pm$ 标准误)

生物类别	样本量(n)	富集量(均值 $\pm$ SE)	优势粒径占比(<50 μm)	摄食方式
枝角类	30	0.6 $\pm$ 0.15 particles/ind	68%	滤食

续表

螺类	25	1.2 ± 0.25 particles/ind	72%	刮食
小型鱼类	20	1.6 ± 0.30 particles/g (ww)	55%	捕食

注：ww 表示生物组织湿重。同一营养级内个体间变异主要受个体大小、摄食活跃度及局部水体颗粒浓度波动影响。

3. 微塑料在淡水食物链中的传递机制及教育融入路径

3.1. 营养级间微塑料传递规律

淡水食物链中微塑料的营养级传递通常始于初级生产者，藻类细胞表面的胞外聚合物可吸附粒径较小的 PE、PP 及纤维状微塑料，形成藻体 - 颗粒复合体，随后被浮游动物摄食并进入消化道，部分颗粒经排泄返回水体，另一部分则在体内短期滞留，进而通过小型鱼类对浮游动物的捕食进入更高营养级，该过程体现出水体颗粒污染与生物摄食行为之间的耦合关系，具体传递路径见图 2。

从不同营养级的富集水平看，藻类微塑料含量为 0.4 mg/g，浮游动物升至 0.9 mg/g，小型鱼类进一步达到 1.6 mg/g，说明微塑料并非仅停留于水体或沉积物介质，而是能够沿“藻类 - 浮游动物 - 小型鱼类”链条发生连续转移，相关对比数据见表 3。

Table 3. Comparison of microplastics enrichment of organisms with different nutritional levels
表 3. 不同营养级生物微塑料富集量对比表

营养级	代表生物	样本量(n)	微塑料含量(均值 $\pm$ SE, mg/g 干重)	优势类型	优势粒径 (μ m)	相邻营养级增幅(%)	统计显著性
初级生产者	藻类	12	0.4 ± 0.08	PE、PP	20~50	—	—
初级消费者	浮游动物	15	0.9 ± 0.15	PE、PP、纤维	30~80	125	$p < 0.01$
次级消费者	小型鱼类	18	1.6 ± 0.30	PP、纤维、碎片	50~120	77.8	$p < 0.01$

从表 3 可见，微塑料并非仅停留于水体或沉积物介质中，而是能够沿“藻类→浮游动物→小型鱼类”链条发生连续的浓度梯度上升。这种递增趋势可视为生物放大效应的初步表现，但其强度低于典型持久性有机污染物(如 DDT、PCBs 等)，原因在于微塑料颗粒具有排泄、破碎、表面生物膜降解和沉积物再悬浮等动态消除过程[4]。因此，在教学转化中应设置专门讨论环节，引导学生区分“浓度沿食物链升高”与“持久性有毒物质永久累积”之间的机制差异，并引入“动态平衡”而非“单向累积”的分析框架。

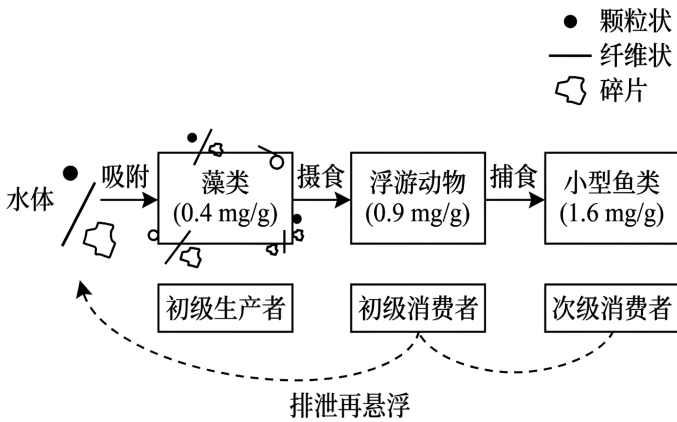


Figure 2. Flow chart of microplastics' delivery in freshwater food chain
图 2. 微塑料在淡水食物链传递流程图

3.2. 影响微塑料传递的关键因素

微塑料在淡水食物链中的传递效率首先受粒径控制，小粒径颗粒比表面积较高、沉降速度较低，易附着于藻类胞外聚合物并被浮游动物误食，在本案例中(表 4)，<50 μm 颗粒在枝角类体内的检出占比约 68%，其相对传递效率较>100 μm 颗粒高约 35% (t 检验，p < 0.05)，表明粒径缩小同步提高了摄入概率、体内滞留时间及向更高营养级迁移的可能性。

Table 4. Effect of particle size on biological enrichment of rivers around campus (monitoring data, n ≥ 20)
表 4. 粒径对校园周边河流生物富集的影响(监测数据, n ≥ 20)

生物类型	<50 μm 颗粒占比(%)	>100 μm 颗粒占比(%)	<50 μm 相对传递效率	统计检验(p 值)
枝角类	68 ± 7.2	12 ± 4.1	1.35 (标准化值)	<0.05
螺类	72 ± 6.8	10 ± 3.8	1.42	<0.05
小型鱼类	55 ± 8.3	28 ± 5.9	1.00 (基准)	—

生物摄食偏好是决定富集差异的另一关键因素，滤食性和刮食性生物对惰性颗粒的选择性较弱，更易摄入与天然饵料粒径相近的 PE、PP 碎片；同一河段中，枝角类平均富集量为 0.6 个/个体，螺类为 1.2 个/个体，后者较高水平与其持续刮食生物膜、沉积有机碎屑和底层颗粒有关，小型鱼类则会在摄食浮游动物与底栖无脊椎动物时形成直接摄入和间接捕食并存的累积路径[5]。

水体理化性质通过改变颗粒迁移状态和生物暴露强度进一步调节传递过程，pH 值变化可影响颗粒表面电荷及其与溶解性有机质的结合，弱碱性条件下团聚程度降低，悬浮态微塑料更易被滤食生物摄入；流速决定颗粒在水柱与沉积物之间的再悬浮频率，低流速河湾易形成沉积汇，高流速断面会增加漂浮颗粒与浮游生物接触机会。因此，粒径、摄食方式、pH 值与流速共同构成微塑料传递强度的多维调控网络[6]。

3.3. 基于传递机制的环境教育课程设计

基于微塑料在藻类、浮游动物与小型鱼类之间的摄食传递规律，本文设计了一个 3 课时(每课时 45 分钟)的中学环境教育探究模块，其教学逻辑遵循“认知 - 模拟 - 行动”三阶递进框架。该模块的核心目标不在于验证未知科学假设，而在于让学生完整经历“从观察到提问，从实验到解释，从数据到行动”的科学探究流程。

第一课时：问题建构与背景认知(45 min)

教师引导学生识别校园周边水体中 PE、PP 等常见微塑料来源，说明实验用荧光标记微粒的粒径控制、低剂量投加和废液回收要求，并由学生分组制定藻类培养、浮游动物投喂、显微观察和记录表单，以保证课程目标由污染认知自然过渡到食物链传递机制理解。

第二课时：微塑料传递模拟实验(45 min)

学生在恒温光照条件下培养小球藻或栅藻，向培养体系加入粒径小于 50 μm 的标准微粒，待藻细胞表面吸附趋于稳定后投喂枝角类或轮虫，随后按 20 min、40 min、60 min 采集水样与生物样本，经清洗、固定、荧光显微镜观察和图像计数，记录单位体积水体、单位藻量及单个浮游动物体内微粒数量，同时比较投喂前后微粒位置变化，从而将抽象的营养级传递过程转化为可观察、可记录的课堂证据。

第三课时：数据整理、机制讨论与行动转化(45 min)

学生依据统一模板完成原始数据校核、异常值说明、柱状图或折线图绘制，并围绕粒径差异、摄食方式、暴露时间等变量讨论传递效率变化原因。教师组织“证据链评价”活动——要求学生按“吸附→

摄入→排出→再摄食”四个环节梳理观察证据，并计算“表观传递率” = 浮游动物体内微粒数/水相微粒浓度，以简化方式体会营养级传递的定量含义。最后，各小组将实验结论与表 3 中食物链累积趋势进行对比，转化为校园减塑倡议(如减少一次性餐具使用)、河流定点监测方案(每月一次，固定三个断面)及面向低年级的科普海报，完成“认知 - 行动”闭环。

4. 微塑料富集传递的生态影响评估与教育实践建议

4.1. 微塑料对淡水生物的生理影响评估

淡水鱼类摄入微塑料后，颗粒可在消化道内造成机械摩擦并与表面吸附污染物协同作用，进而扰动营养吸收、能量分配和代谢稳态，案例材料显示生长速率下降 18%，肝脏酶活性升高 25%，说明其已由单纯异物摄入转化为系统性生理胁迫，相关指标对比见表 5。

Table 5. Effects of microplastics exposure on physiological indexes of freshwater fish
表 5. 微塑料暴露对淡水鱼类生理指标影响表

指标	对照组	暴露组	变化幅度	生理意义
体长增长率/%	100	82	-18%	生长受抑
肝脏酶活性/%	100	125	+25%	解毒负荷增加
摄食效率/%	100	86	-14%	营养利用下降
肠道黏膜完整性/%	100	79	-21%	屏障功能受损
体内脂质储备/%	100	88	-12%	能量分配失衡
抗氧化能力/%	100	83	-17%	氧化胁迫增强

注：数值以对照组为 100%进行归一化处理，实际暴露浓度与持续时间在不同文献中不完全一致(暴露浓度范围 10 µg/L~10 mg/L，暴露时间 7~30 天)，因此变化幅度为各研究报道值的近似中位估计，教学使用时需说明实验条件差异对结果可比性的影响。

进一步分析表明，持续暴露还会诱发氧化应激增强、肠道屏障完整性下降及肝细胞解毒负荷增加，使个体在繁殖准备、越冬耐受和捕食逃逸等关键生存环节中的适应能力同步减弱。从生态层面看，这类亚致死效应虽不必然导致短期死亡，却可能通过降低鱼类生长效率和种群补充率，削弱淡水食物网的能量传递效率，并放大高营养级生物的摄食风险，最终对校园周边河流的生物多样性维持与生态系统稳定性构成持续威胁[7]。

4.2. 风险估算的局限性与教学中的审慎表达

校园周边河流案例表明，微塑料已由水体和沉积物介质进入浮游、底栖及鱼类摄食链条，枝角类为 0.6 particles/ind，螺类为 1.2 particles/ind，小型鱼类富集水平升至 1.6 mg/g，说明低营养级生物既是污染受体，也是向鱼类转移的中间载体，若该河段与居民垂钓、亲水活动或周边农贸消费发生联系，生态暴露便可能延伸为人群暴露风险[8]。

在人类摄入风险的情景化估算中，需要声明以下重要局限：(1) 本案例中的鱼类样本为野生小型杂鱼，并非典型食用鱼种；(2) 居民实际消费鱼类多经过去鳞、去内脏和烹饪处理，可部分去除消化道内颗粒；(3) 可食组织(肌肉)中的微塑料累积量通常低于全鱼匀浆值；(4) 不同鱼种、年龄和摄食习性会导致富集量相差数倍至一个数量级。

基于上述限定条件，若仅作教学情景下的数量级估算，将小型鱼类全鱼匀浆含量 1.6 mg/g 作为参考值，假设居民每周食用淡水鱼 200 g (此假设为高估情景，实际调查显示该区域人均每周淡水鱼消费约

80~120 g), 则潜在接触负荷约为 0.32 mg/week (即 320 µg/week), 该数值反映的是“全鱼匀浆的最大估算情景”, 不代表实际膳食摄入量。在课堂教学中, 这一估算应严格标注为“模型假设下的参考值, 不可直接外推为健康风险结论”, 其教学价值在于帮助学生认识“从环境浓度到人体暴露的推算需要哪些前提条件”, 而非制造担忧[9]。

从教育实践看, 风险认知的重点不在于制造恐慌, 而在于帮助学生理解微塑料污染具有来源日常化、迁移隐蔽化和影响累积化特征, 教师可引导学生把校园塑料消费、河流垃圾输入、生物富集和食品安全联系起来, 形成基于证据的判断能力, 并进一步推动减塑行为、规范采样监测和社区科普参与[10]。

4.3. 将科研成果融入青少年微塑料教育的操作路径

青少年微塑料防治教育宜以校园场景为核心, 将科学认知、探究实践与行为引导整合为连贯的课程体系, 进一步提出三项拓展策略:

(1) 年度监测常态化。可参照表 1 和表 2 的监测方案, 每学年组织一次校园周边河流监测活动, 学生在教师与专业人员协同下完成样点布设、样品采集、显微识别与数据归档。这一重复性设计不仅可积累时间序列数据, 更重要的是让学生体会“科学监测的系统性与长期性”, 理解单一截面数据的局限性。

(2) 互动工具开发。开发微塑料传递模拟卡片、简化版数字化计数平台(如手机微拍 + ImageJ 插件)和情境化任务单, 以增强学生对粒径差异、摄食行为与再悬浮过程的直观理解。其中“虚拟传递模型”可由学生用不同颜色筹码代表不同粒径颗粒, 在食物链层级间按给定转移率(如 10%、30%、50%)手工模拟转移过程, 增强对“传递效率”概念的体验式理解。

(3) 校社协同联动。学校应与当地环保监测站、科技馆和社区中心建立资料共享与联合科普机制。具体可包括: 邀请监测站技术人员进校讲解本地水环境数据; 学生监测成果在社区以展板形式发布; 与周边小学结成“科普对子”, 由中学生向小学生讲授减塑知识。这一策略将学校教育、公众参与与河流管护衔接起来, 推动学生将防治认知转化为持续性的环境责任行为。

5. 结语

本文以校园周边淡水环境为切入点, 在系统梳理文献数据与监测成果的基础上, 揭示了微塑料在水体、底泥及生物体内的富集特征, 说明其可通过藻类、浮游动物和小型鱼类形成连续传递链条, 并对鱼类生理状态造成多维影响。研究表明, 微塑料问题不仅是环境污染议题, 也是适合开展真实情境教学的重要资源。将野外监测案例、模拟实验探究与社区行动倡议有机整合, 有助于推动学生从认识污染现象走向理解传递机制, 再走向理性的治理参与。未来可进一步拓展长期监测、跨学科课程设计与社区协同机制, 增强青少年在生态保护中的持续参与能力。

参考文献

- [1] 董纯, 龚云, 陈音超, 黄炎, 周国鹏, 胡常云. 长江上游仔幼鱼微塑料赋存特征及生态风险[J]. 环境科学学报, 2026, 46(1): 455-463.
- [2] 杨玉菲, 李盼, 薛振, 路宏朝, 王令, 王珊珊, 张涛. 基于文献计量分析微塑料的生物学毒性研究进展[J]. 家畜生态学报, 2025, 46(3): 73-82.
- [3] 苟祎卓, 李家科, 段小龙, 高佳玉, 孙悦. 水土环境中微塑料和全氟化合物污染现状、环境行为及毒性效应研究进展[J]. 环境污染与防治, 2025, 47(6): 20-28.
- [4] 陈鹏, 义拉勒特, 李文婷, 孙海洲. 微塑料暴露对动物多器官损伤机制及绿色调控策略[J]. 动物营养学报, 2025, 37(10): 6461-6478.
- [5] 徐建, 冯广朋, 严云志, 陈锦辉, 吴建辉, 杨祖长. 基于转录组学探究微塑料与铜暴露对中华绒螯蟹肠道基因表达的影响[J]. 渔业科学进展, 2025, 46(2): 173-188.

- [6] 刘欢溢. 校园水环境教育实践: 四阶递进育护水少年[J]. 环境教育, 2026(2): 142-143.
- [7] 赵超, 刘万淑, 董浩伟, 等. 环境教育与实践活动的融合——校园土壤分析与改良[J]. 环境教育, 2026(1): 98-99.
- [8] 桑木珍, 布多, 崔小梅, 等. 中学化学教学中生态环境保护意识的培养——微塑料的环境污染行为与防控治理[J]. 化学教育(中英文), 2026, 47(1): 11-18.
- [9] 朱倩, 周之栋. “双碳”背景下微塑料污染议题融入思政课程[J]. 环境教育, 2025(9): 31-35.
- [10] 刘萱微. 空气流通评估方法对比与校园室外风环境模拟探究[J]. 科技视界, 2025, 15(16): 73-75.