Advances in Education 教育进展, 2026, 16(11), 1460-1467
Published Online November 2026 in Hans. https://www.hanspub.org/journal/ae
https://doi.org/10.12677/ae.2026.16112523

Hans汉斯

“生态鱼缸”的探究与设计

——硫、氮、碳元素及其化合物大单元教学设计

赵一诺，张宪玺*

聊城大学化学化工学院，山东 聊城

收稿日期：2026年10月11日；录用日期：2026年11月12日；发布日期：2026年11月19日

摘　要

元素化合物主题涉及多种物质及性质的教学，若仅重视物质性质的讲授，易陷入纸笔训练，导致学生碎片化学习。针对上述问题，文章提炼“物质的性质与转化”大概念，对硫、氮、碳元素及其化合物进行单元教学设计与实施。以“生态鱼缸”为教学情境，实行“原因探析－方案设计－实测检验”三课时单元教学，借助价－类二维图与元素循环模型落实学科核心素养，实现教学评一体化，为元素化合物单元教学提供实践案例，彰显化学学科的社会价值。

关键词

大概念，单元教学，元素化合物，化学核心素养，真实情境

Inquiry and Design of an “Ecological Fish Tank”

—A Large Unit Teaching Design for the Elements Sulfur, Nitrogen, and Carbon and Their Compounds

Yinuo Zhao, Xianxi Zhang*

School of Chemistry and Chemical Engineering, Liaocheng University, Liaocheng Shandong

Received: October 11, 2026; accepted: November 12, 2026; published: November 19, 2026

Abstract

The theme of elements and compounds involves the teaching of multiple substances and properties.

*通讯作者。

文章引用: 赵一诺, 张宪玺. “生态鱼缸”的探究与设计[J]. 教育进展, 2026, 16(11): 1460-1467.
DOI: 10.12677/ae.2026.16112523

Merely emphasizing the instruction of substance properties can lead to paper-and-pencil drills, thereby causing fragmented learning among students. Based on the above problems, the big idea of the properties and transformations of substances was extracted, and unit teaching design and implementation were conducted for sulfur, nitrogen, and carbon elements and their compounds. With the "Ecological Fish Tank" as the instructional context, a three-period unit teaching of "cause analysis - scheme design - actual measurement verification" was completed. With the aid of valence-category two-dimensional diagrams and element cycle models, disciplinary core competencies were implemented, teaching-learning-assessment integration was achieved, practical cases were provided for the unit teaching of elements and compounds, and the social value of the chemistry discipline was embodied.

Keywords

Big Idea, Unit Teaching, Elemental Compounds, Core Chemistry Literacy, Authentic Situation

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

在元素及其化合物的学习中，涉及的物质及其相互转化非常冗杂，难以形成系统的认知框架，学生掌握知识的痛点在于知识零散，难以迁移。当前，高中元素及其化合物教学的主要困境在于知识碎片化，价－类二维图教学多停留在习题训练层面，缺少真实的情境迁移。在此背景下，实施单元教学可以打破课时主义的束缚，使教学从碎片化的知识技能训练转向结合综合实践活动的真实学习[1]。单元教学能更好地推动教学目标从知识技能掌握转向核心素养发展，将割裂的知识碎片整合为一个有机整体。单元教学以大概念为统领，大概念既是各种条理清晰的关系的核心，又是具有生活价值、指向学习迁移的重要锚点[2]。教师进行单元教学时，首先要提炼化学学科大概念，帮助学生将其内化为自己头脑中的化学基本观念。其次，根据提炼出的大概念初步规划单元，对大概念进行细化，确定单元大概念、单元主题和内容。进而，以单元大概念为核心进行单元整体设计，形成单元链结构，依托单元情境实施教学评一体化的单元教学，并在实践中不断反思、优化，持续修正和完善单元设计[3]。

《普通高中化学课程标准(2017 年版 2020 年修订)》(以下简称课程标准)中明确要求：重视以学科大概念为核心，使课程内容结构化，以主题为引领，使课程内容情境化，促进学科核心素养的落实[4]。引导学生从系统大概念的角度认识物质的性质、转化及应用，还要做到“无情境不教学”，创设能够指向核心知识，且承载学生复杂认知活动的具体情境。化学学习情境并非简单的情境素材呈现，而应成为化学学习的重要组成部分，贯穿整个化学教学过程[5]。

本文以硫、氮、碳元素为例，设计单元教学，结合课程标准的要求，以“生态鱼缸的设计”为真实情境，贯穿学习过程，开发 3 课时的单元教学设计，提炼出学科大概念，以大概念为统领，整合课程目标、内容、实施和评价，实现从理论分析、方案设计到实验检测的完整教学实践。

2. 单元教学开发依据

结合课程标准和学科核心素养的要求，分析学生的学习难点，梳理出大概念，并依据大概念细化出四个核心概念：从化合价和物质类别两个维度认识硫、氮、碳元素；认识元素循环在自然生态系统中的作用机制；氧化还原反应、化学平衡原理在物质转化中的应用；从元素循环视角理解环境保护与资源利

用。归纳总结出单元核心问题：“如何运用硫、氮、碳元素的转化，设计一个生态鱼缸，提高鱼类存活率？”最终确定了三个课时：“探析鱼群死亡原因”、“设计微型生态鱼缸”、“检测微型生态鱼缸成果”。整体架构如图 1 所示：

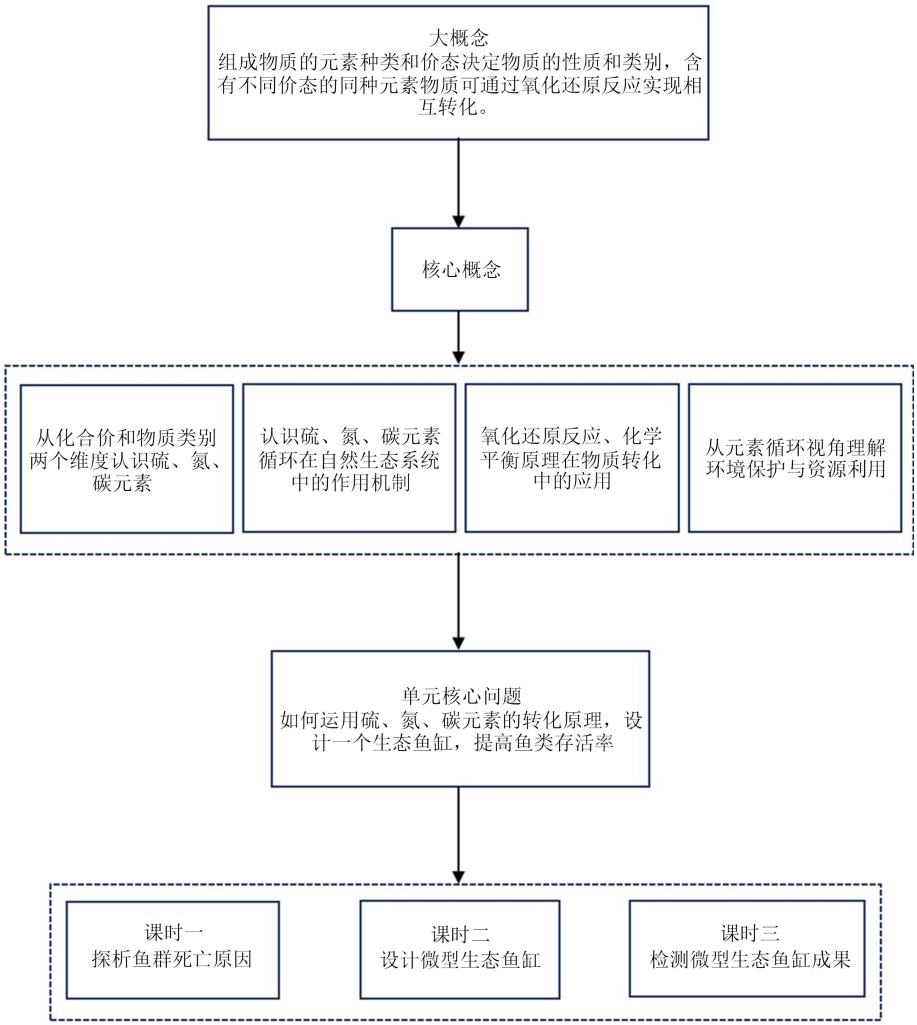


Figure 1. Big ideas-led unit instructional framework
图 1. 大概念统领下的单元教学架构

3. 学情分析

已有水平：学生已初步掌握硫、氮、碳元素单质及其化合物的化学性质，理解氧化还原反应规律，并具备书写简单化学方程式的能力；已初步具备类比推理、归纳总结的能力，大部分学生能够完成“价－类二维图”的绘制，但难以在真实而陌生的情境中调用模型。学优生则可自主完成多因素综合推理，能依据元素价态对常见物质进行归类和性质预测。

认知障碍与发展空间：价－类二维图多用于纸笔习题，缺少在开放、真实、复杂情境中运用其进行分析的训练。学生虽了解“碳中和”、“水体富营养化”、“酸雨”等环境议题，具有一定的环保意识和可持续发展观念，但对这些宏观社会议题背后的微观化学原理缺乏深层理解，对元素缺乏观念性和系统性的认识，对硫、氮元素及其化合物的认识仍停留在书本的片段文字中，难以在真实生活情境中灵活应用元素之间的

“性质–转化–应用”关系。面对社会问题，学生往往浅尝辄止，尚未建立自己的化学思维体系，也难以从化学视角对“碳中和”、“水体富营养化”、“酸雨”等议题展开分析与解释，知识迁移能力不足。

4. 单元教学目标

依据课程标准中的学习质量要求和“常见的无机物及其应用”主题的学习要求，设定教学目标如下：

1) 单元教学总目标：掌握含硫、氮、碳元素的物质及性质，利用于水体污染成因分析，构建海水中物质转化模型，利用物质的性质解决真实情境中的问题，落实学科核心素养。

2) 通过绘制硫、氮、碳元素的价–类二维图，能够认识到硫、氮、碳元素在自然界以多种物质形式存在，可以从元素价态和类别的角度对硫、氮、碳元素的物质进行分类，对物质的性质进行解释和预测，发展“宏观辨识与微观探析”核心素养。

3) 能够结合真实情境，推理水体中的元素转化，构建海洋中硫、氮、碳元素的转化模型，发展“变化观念与平衡思想”、“证据推理与模型认知”核心素养。

4) 通过小组合作，设计方案进行实验探究，应用化学原理解决鱼群存活率的实际问题，形成从性质视角解决问题的思维，发展“科学探究与创新意识”核心素养。

5) 能运用元素循环、绿色化学视角分析水体治理的真实问题，建立化学与生态环境之间的联系，树立可持续发展意识，发展“科学态度与社会责任”核心素养。

5. 单元教学流程

结合硫、氮、碳元素及其化合物的大概念、核心概念和单元核心问题，在洞悉学生学情的基础上，依据单元教学目标的设定，设计了单元教学流程，包含三课时。在具体的情境和任务中，设计了不同层次的问题，使学生在活动与探究中提高化学核心素养。具体单元教学流程见表 1。

Table 1. Unit teaching process
表 1. 单元教学流程

课时	知识线	情境线	问题线	活动线	素养线
课时一	硫、氮、碳元素价–类二维图 硫、氮、碳元素及其化合物在水体中的转化。	渔民的求救信：海洋鱼类在家用鱼缸或养殖场存活率低。	基础理解： 如何分析水体污染物？ 导致鱼类死亡原因？ 探究推理： 硫、氮、碳元素在海水中如何转化？ 从化学平衡角度分析鱼群死亡原因？	复习元素化合物离子方程式的书写(课前预习)； 绘制硫、氮、碳元素的价–类二维图； 结合海水的酸碱性，分析导致鱼类死亡原因； 总结在海水中的元素转化模型； 从化学平衡角度分析鱼类死亡原因； 查阅资料(课下拓展)。	宏观辨识与微观探析、 证据推理与模型认知、 变化观念与平衡思想
课时二	综合利用化学原理解决实际问题。	设计微型生态鱼缸方案，提高鱼群生存率。	探究推理： 如何设计“生态鱼缸”，提高鱼类的存活率？	小组讨论：结合平衡移动分析物质转化，分析鱼类死亡的影响因素，寻找对策，设计“生态鱼缸”。	科学探究与创新意识、 变化观念与平衡思想
课时三	pH 试纸检测 氨氮试纸检测 S^{2-}检测。	生态鱼缸中鱼类生存情况。	迁移创造： 如何设计方法检验鱼缸中 pH 值和氨氮值?	展示实验成果：鱼缸中生物存活情况，利用 pH 试纸和氨氮检测试纸测量水体情况。	变化观念与平衡思想 科学探究与创新意识 科学态度与社会责任

6. 课时教学实施

课时一：探析鱼群死亡原因

环节 1：情境导入。将海洋中捕获的鱼放进家里的鱼缸，不出几小时便接二连三地死亡。渔民的“求

救信”中写道，养殖渔场里鱼的死亡率很高。究竟是什么原因，让鱼群脱离海水后，即便勤换水、勤喂食，存活率依然很低？

迷思概念：鱼缸环境中缺氧导致鱼存活率低，养殖场的海洋环境中出现了外来有毒有害污染物。

环节 2：海洋中蕴含了硫、氮、碳等元素参与循环，养育了万千生命。鱼缸中的元素循环受阻，是导致鱼群脱离海水死亡的部分因素。如何分析造成水体污染的具体物质？

教师提供硫、氮、碳元素相互转化的化学方程式，带领学生复习梳理相关物质的性质。

任务 1：基础层：分别绘制硫、氮、碳元素的价－类二维图，标出水产养殖中可能出现的有毒物质：NO_2^-、H_2S。学生绘制的硫、氮、碳元素的价－类二维图见图 2。提高层：思考导致鱼群死亡的物质还会有哪些？分析水中生成有毒物质的路径。

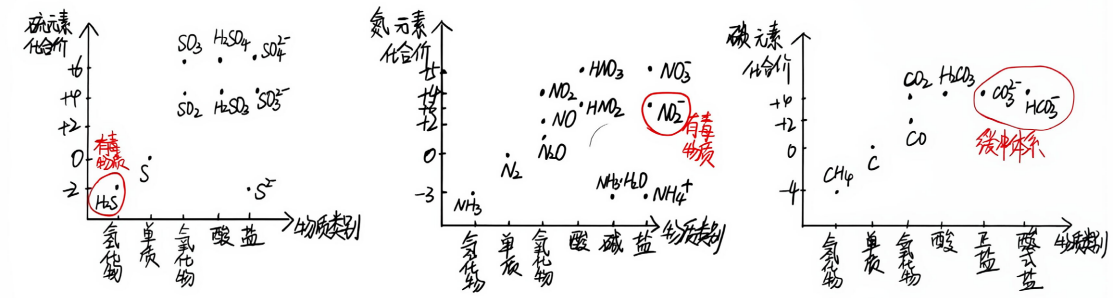


Figure 2. A two-dimensional chart of oxidation states versus chemical classes for sulfur, nitrogen, and carbon, created by students

图 2. 学生绘制的硫、氮、碳元素价－类二维图

任务 2：结合海水的酸碱性，分析哪些因素会导致鱼类死亡？

迷思概念：海水呈弱碱性，鱼呼吸产生大量二氧化碳，溶于水产生碳酸，会使水体 pH 下降。

教师提供突破策略：碳循环能维持水体酸碱度的稳定，海水中含有丰富的 CO_3^{2-} 和 HCO_3^-，形成了“碳酸盐缓冲系统”，海洋依靠碳酸盐缓冲体系可以显著抑制 pH 波动，但封闭鱼缸环境缓冲能力有限，当 CO_2 大量持续积累，依然会造成水体 pH 降低。海洋中存在硝化细菌和反硝化细菌，能将鱼类排泄物分解产生的 NO_2^-、NH_4^+ 转化为 NO_3^-，海洋中存在硫循环，会在底层缺氧区产生 H_2S，但氧化环境和海水强大的水流会迅速将 H_2S 氧化为无毒的硫酸盐。而水缸环境和养殖水域，水中溶解的 NO_2、SO_2 与水生成酸类物质以及海洋微生物产生的 H_2S，电离产生氢离子增加水的酸性没有得到及时改善，造成水体恶化。

环节 3：硫、氮、碳元素在海水中是如何转化的？

任务 1：基础层：书写转化物质的离子方程式。提高层：总结硫、氮、碳元素在海水中的转化模型。学生绘制的硫、氮、碳元素在海水中的转化模型见图 3。

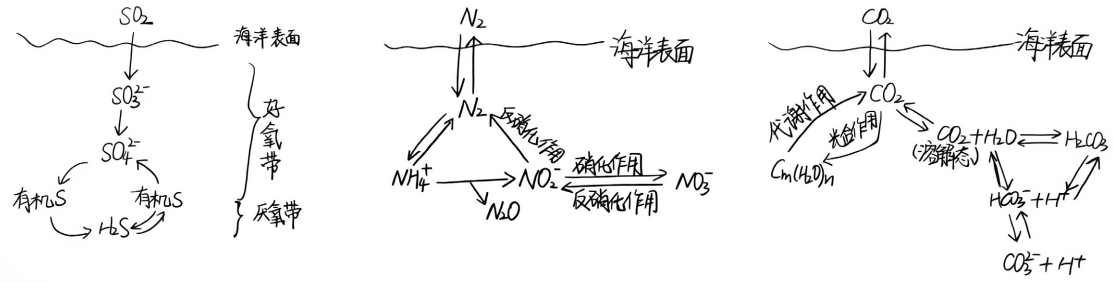


Figure 3. A model of the transformation of sulfur, nitrogen, and carbon in seawater, created by students

图 3. 学生绘制的硫、氮、碳元素在海水中的转化模型

环节 4：分析鱼群死亡原因。

任务 1：教师提供资料卡片：硝化细菌和反硝化细菌适宜生存的 pH 为 7.5~8.5。从化学平衡的角度分析物质的转化和鱼类脱离海水死亡的原因。

小组讨论：鱼缸环境中碳酸盐缓冲系统薄弱崩溃，H^+浓度上升，水体 pH 下降，鱼类脱离弱碱性环境而死亡；酸性环境下，H_2S 电离平衡逆向移动，在缺氧区堆积，使鱼类中毒死亡；硝化细菌和反硝化细菌在酸性水域中难以存活和参与反应，水域中积累大量 NO_2^-、NH_4^+，鱼类中毒而存活率低。

课后资料调查：养殖场中中和酸的措施。

加生石灰调节水的 pH，$CaO + H_2O = Ca(OH)_2$，通过中和过多的 H^+重建缓冲体系。

课时二：设计微型生态鱼缸

环节 1：从生态环保和元素循环、可持续发展的角度，设计一个“微型生态鱼缸”，提高海洋鱼类的存活率。教师提供材料：鱼缸、氧气泵、$NaHCO_3$、河砂、滤材(利于硝化细菌附着)、沸石。设计角度：平衡溶液酸碱环境、除去 H_2S、转化 NH_4^+。

任务 1：小组合作探究。基础层：每个角度寻找一项对策。提高层：每个角度寻找两项对策，并思考哪项对策更好。学生设计的微型鱼缸生态方案见表 2。

Table 2. Design proposal for a micro ecological fish tank
表 2. 微型生态鱼缸设计方案

平衡溶液酸碱环境	除去 H_2S	转化 NH_4^+
A1：结合勒夏特列原理，氧气泵补充氧气，降低 CO_2 的分压，平衡会向生成 CO_2 的方向移动。	B1：利用氧化还原反应除去 H_2S，定期翻砂或通入氧气增加鱼缸中的溶解氧，可以将 H_2S 氧化为无毒的 SO_4^{2-}。	C1：结合催化法，增加让硝化细菌附着的滤材，增加硝化细菌的数量，打开氧气泵，提升硝化细菌除氨能力。
A2：结合酸碱中和反应，加入 $NaHCO_3$ 中和多余 H^+，增强水体的缓冲能力。	B2：利用沉淀反应除去 H_2S，底部加入少量含铁的氧化物。Fe^{3+}与 S^{2-}发生反应生成 S 单质沉淀。	C2：结合物理吸附法，放置沸石，通过离子交换，将 NH_4^+ 吸附在沸石的多孔结构中。

课时三：检测微型生态鱼缸成果

环节 1：根据生态鱼缸的设计策略，每个小组分别选择不同方法，设计成八组实验。八个小组在鱼群初始情况相同的条件下，经过为期一周的养殖后，交流展示鱼缸中鱼的存活情况。

任务 1：小组进行实验检测，观察并记录实验现象。

教师提供实验原理与操作演示：

pH 试纸检测水体酸碱度，通过指示剂(甲基红、溴甲酚绿、百里酚蓝等混合物)的颜色变化反映 H^+浓度。用玻璃棒蘸取鱼缸中溶液并滴在 pH 试纸上，与标准比色卡对比。鱼类适宜 pH 为 6.5~8.5，最适范围为 7.0~8.0。pH < 6.5 或>9.0 均对鱼类有害。

氨氮检测试纸基于纳氏试剂法原理，利用其检测总氨氮浓度：在强碱性条件下，水中的 NH_4^+ 与纳氏试剂(碘化汞钾 K_2HgI_4)反应，生成黄棕色络合物(NH_2Hg_2OI)，颜色深浅与氨氮浓度成正比。渔业水质标准规定氨氮 ≤0.2 mg/L 为安全；大于 0.5 mg/L 会影响鱼类摄食和生长；大于 2 mg/L 可致鱼类死亡。

硫化物检测采用醋酸铅试纸法：将水样酸化，使硫化物转化为 H_2S 气体，H_2S 与醋酸铅试纸反应生成棕黑色 PbS 沉淀，根据颜色深浅(白→浅棕→深棕→黑)半定量判断硫化物浓度。水产养殖中 H_2S 安全浓度 ≤0.05 mg/L；0.1~0.5 mg/L 即会造成中毒；大于 1 mg/L 可致鱼类死亡。试纸法灵敏度有限，可通过是否变黑快速判断是否超标。

环节 2：方案权衡与交流展示。

任务 1：小组讨论。基础层：根据实验现象进行方案权衡。提高层：确定最优方案。

酸碱调控：气泵曝气干净、生态、可持续，但调节幅度有限；$NaHCO_3$ 见效快、缓冲强，但引入化学物质、加量难控。

除硫策略：氧化法治本、彻底无害化，但需充足溶氧且产酸；沉淀法快速、立竿见影，但只是转移、底泥积累有二次释放的风险。

氨氮转化：生物硝化长效、符合生态理念，但启动慢(4~5 天)、对环境敏感；沸石吸附见效快、适应性强但容量有限、治标不治本。

在小组实验条件下，综合操作简便性、成本、生态风险，小组认为 $NaHCO_3$ 调 pH、铁的化合物除硫、硝化系统转化氨氮为较适宜的组合方案。

任务 2：交流展示与评价。

各小组展示水体检测情况和鱼缸中生物存活情况，进行教师评价、学生自评和小组互评。评价量表见表 3。

Table 3. Evaluation scale
表 3. 评价量表

评价维度	评价指标	等级	得分
方案科学性	检测原理理解	1：正确使用试纸但不清楚原理；2：能解释 pH 指示剂变色、纳氏试剂法测氨氮、醋酸铅试纸法测硫化物；3：能解释原理并指出试纸法灵敏度有限，可能受干扰	
	方案选择的科学性	1：能说出一种方法优缺点；2：能比较气泵与 $NaHCO_3$ 调 pH、氧化法与沉淀法除硫、生物硝化与沸石吸附氨氮；3：能基于操作简便性、成本、生态风险进行多因素权衡	
方案可行性	检测操作规范	1：基本会但需要指导纠正 2：熟练用玻璃棒蘸取水样、滴 pH 试纸、与标准比色卡对比；3：规范操作并能指导他人，能注意试纸使用和比色条件	
	方案实施可行性	1：部分可实施；2：选择的方案均可实施；3：有具体用量、时间安排和替代方案	
	成本与资源	1：粗略考虑或成本高；2：成本低、材料易得；3：优化成本，能循环利用或就地取材	
生态安全性	鱼存活情况	1：鱼大量死亡；2：水质基本安全，鱼存活良好；3：水质正常，鱼存活率很高	
	指标检测结果	1：检测结果都不满足安全范围；2：结果满足 1~2 项；3：结果满足 3 项	
	废弃物处理	1：直接废弃未处理；2：残饵、粪便、废水合理处理；3：物质循环利用，零污染排放	
实验记录完整性	实验过程记录	1：部分记录实验过程；2：完整记录；3：记录完整且条件控制清晰	
	水质检测记录	1：有少量数据；2：完整记录最后一天数据；3：实验过程多次记录，观测水质变化	
	鱼存活情况记录	1：无记录或只记死亡数；2：记录一周存活情况；3：结合水质数据解释鱼存活的变化情况	
创新性	方案优化创新	1：无创新；2：简单改进；3：提出新组合或新调控策略，兼顾生态与效率	
	成果展示与推广	1：表达不清；2：基本展示；3：清晰展示鱼存活和水质结果，有科普推广价值	

7. 单元教学总结、反思与教学局限

1) 以真实情境为驱动力，加深学生对知识的理解

本单元教学将“鱼缸和养殖场的鱼群存活率低”这一真实情境，与海洋中丰富生动的鱼群作对比，引发学生的思考与探究欲望。深入了解学生的学情。之后，基于价－类二维图，在加深学生基础知识理解的前提下，将基础知识关联成一个系统，引导学生构建自己的知识体系。

2) 大概念为统领，构建知识的迁移体系

单元核心问题与教学任务紧紧围绕大概念展开，并在大概念的统领下，为学生确定逐级进阶的知识

链、问题链、活动链和素养链。三课时的任务衔接良好，遵循学生的认知发展规律：从元素价态和物质类别出发，到物质的转化与应用，进而归纳单元学习方法，并建立不同学科之间的联系，实现书本知识向真实社会场景的应用迁移。

3) 真实问题层层进阶，发展学生的核心素养

设计层层递进的问题，对应不同的学生活动任务，实现真实问题与核心素养的融合进阶[6]。从宏观养殖场和鱼缸中的鱼群到微观的元素符号表征和物质转化，发展了学生宏观辨识与微观探析的学科核心素养；结合化学平衡视角分析水体中物质的平衡移动，认识元素的循环，发展了学生的变化观念与平衡思想；推理认识鱼群在鱼缸中存活率低的原因，构建物质的循环转化模型，发展了学生的证据推理与模型认知能力；通过设计生态鱼缸，发展学生的科学探究与创新意识；从元素的循环视角理解环境保护与资源利用，构建绿色化学观念，增强了学生的科学态度与社会责任。在设计生态鱼缸这一真实教学情境的探讨中，学生提升了综合运用物理、化学、生物等学科知识参与社会热点问题探讨的能力，并积极参与相关社会实践活动，体现了化学学科的育人价值[7]。以学生为主体，采用过程性评价、小组互评等多样的评价方式，不拘泥于成果方案展示，初步构建“教－学－评”一体化闭环[8]。

4) 教学局限与改进

本单元教学分为三课时，并且课时三需要一周的前期养殖，对课堂教学时间、实验室条件要求较高；硫、氮、碳多元素的单元教学对学生思维能力要求高，学困生会存在一定学习负担，提高层任务不太适用于学困生；试纸半定量检测存在误差，仅适合课堂定性探究，不能替代专业仪器检测，定量探究不足，后续可以开发简化微型实验。

基金项目

本文受山东省教育厅 2022 年山东省本科教学改革项目“大中学校共建化学教育研究院的探索与实践”(M2022083)、2019 年山东省研究生教育教学改革项目“地方高校化学化工专业研究生协同育人模式研究与实践”(SDYGJ19061)、聊城大学研究生课程思政示范课程项目和德州学院研究生教育教学项目的资助。

参考文献

[1] 钟启泉. 单元设计: 撬动课堂转型的一个支点[J]. 教育发展研究, 2015, 35(24): 1-5.

[2] 刘徽. “大概念”视角下的单元整体教学构型——兼论素养导向的课堂变革[J]. 教育研究, 2020, 41(6): 64-77.

[3] 张现霞, 宋小宏. 刍议大概念统摄下的高中化学单元教学[J]. 化学教学, 2024(10): 3-9.

[4] 中华人民共和国教育部. 普通高中化学课程标准(2017 年版 2020 年修订) [S]. 北京: 人民教育出版社, 2020.

[5] 刘丹阳, 毕华林. 化学学习情境的价值反思与教学实现[J]. 课程·教材·教法, 2026, 46(6): 144-151.

[6] 万延岚. 核心素养导向的化学单元教学: 内涵理解与教学建构[J]. 化学教学, 2026(1): 3-8.

[7] 许红艳, 杨慧娇, 孙功建. 基于大概念及多角度探讨的跨学科项目式教学——实现“碳达峰、碳中和”的途径研究[J]. 化学教育(中英文), 2023, 44(23): 49-58.

[8] 周玉芝. 核心素养导向的初中化学单元教学设计: 基于大概念[J]. 化学教学, 2023(1): 30-35.