

培养高阶思维的“生态系统的能量流动”教学设计

李 静

扬州大学生物科学与技术学院, 江苏 扬州

收稿日期: 2026年3月9日; 录用日期: 2026年4月10日; 发布日期: 2026年4月20日

摘 要

生物学以生命现象为教学情境, 以真实问题为载体, 在解决问题时, 高阶思维既是“脚手架”, 也是学习的目标。以人工桑基鱼塘生态系统为例, 借助同位素标记法, 通过 ^{14}C 标记的物质传递, 显现出能量流动的过程, 并通过问题链设计, 驱动学生构建“一来四去”能量流动模型, 在此过程中培养问题分析能力、问题解决能力、批判性思维和创造性思维等, 即发展高阶思维。

关键词

高阶思维, 能量流动, 教学设计

Teaching Design for “Energy Flow in Ecosystems” to Cultivate Higher-Order Thinking

Jing Li

College of Bioscience and Biotechnology, Yangzhou University, Yangzhou Jiangsu

Received: March 9, 2026; accepted: April 10, 2026; published: April 20, 2026

Abstract

Biology employs life phenomena as its pedagogical context and authentic problems as its vehicle. In problem-solving, higher-order thinking serves both as a “scaffolding” and as a learning objective. Taking the artificial Sankey-fish pond ecosystem as an example, isotope labeling techniques reveal energy flow processes through the transfer of ^{14}C -marked substances. Through carefully designed problem chains, students are guided to construct the “one in, four out” energy flow model. This process cultivates

their analytical and problem-solving abilities, critical thinking, and creative thinking, thereby developing higher-order thinking.

Keywords

Higher-Order Thinking, Energy Flow, Teaching 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

随着信息爆炸、互联网迅速发展,时代对人才培养提出了更高要求,只有具备更高分析、综合、评价水平的人才能更好地适应社会。从认知目标分类视角界定,布鲁姆根据认知过程的复杂程度从低到高将教育目标分为六个层次,其中低阶思维对应教育目标分类中的识记、理解、应用,而高阶思维对应分类中的分析、综合和评价。而高阶思维是发生在较高认知水平层次上的心智活动或较高层次的认知能力[1]。当学生遇到复杂的任务情境时,往往会驱动批判性思维、创新能力等思维,加工处理信息,尝试问题解决,设计出新的解决方案或办法。在思维和问题的训练中,推动知识转化为能力,引领思维从低阶走向高阶。

2. 教材分析及设计思路

生态系统是生态学的核心研究对象之一,包含了生物成分与非生物成分,指生物群落与无机环境之间的相互作用。生态系统以光合作用和细胞呼吸为基石,以食物链和食物网为媒介,在能量流动中达成物质循环及信息传递,并对生态工程的实施有重要的指导作用。同时,学生已熟知分子、细胞、个体、种群、群落、生态系统的生命系统结构层次,从微观到宏观,层层进阶。各生物成分之间相互作用,以维持生态系统的稳态。

课程标准也提出了相应的内容要求,通过复杂的生态系统,学生能理清食物网和食物链之间的关系,并得出其背后蕴含的能量流动规律,并能举一反三,利用其规律解决其他某一校园、森林、湿地等生态系统的问题。

由此,教学设计从人工生态系统“桑基鱼塘”入手,代替自然生态系统,借助真实的农业情境,桑叶养蚕、蚕沙喂鱼、塘泥种桑,构建生态系统能量流动模型,使能量的输入和输出更直观贴切,同时把农业生产理念渗透到知识体系中[2]。

3. 教学目标

基于课程标准的内容要求、学业要求和学业质量标准,并围绕培养学生核心素养的要求,制定了如下教学目标:

- 1) 通过同位素标记法标记及显示放射性含量,尝试构建能量流动模型,并准确阐述某一营养级能量的来源和去路。
- 2) 通过桑基鱼塘食物链食物网中能量传递数据,认同物质是能量的载体这一物质能量观,并总结出能量流动规律:能量单向流动,逐级递减。
- 3) 通过问题串比较赛达伯格湖生态系统和桑基鱼塘生态系统的异同点,计算出能量流动的一般流动

效率并举例说出提高能量利用率的方法和措施。

4) 通过评价人类对生态系统的影响, 养成保护生态环境意识, 并能在日常农业生产中应用, 解决实际问题。

4. 教学过程

4.1. 情境导入, 培养分析能力

情境导入: 顺德有句俗语“桑茂, 蚕壮, 鱼肥大; 塘肥, 基好, 蚕茧多”。并展示图片: 一片桑树旁是鱼塘, 农民在采摘桑叶喂养蚕, 蚕粪投入鱼塘喂鱼。教师提出问题: 1) 为什么农民不直接卖桑叶, 而是用桑叶喂蚕? 2) 如何用这样的方式变废为宝? 学生思考后, 得出能量利用率这一概念, 由此围绕桑基鱼塘介绍其运作模式。

展示资料: 桑基鱼塘是一种池塘养鱼和池边种桑树的生态农业模式, 其池塘周围养桑树, 桑叶养蚕, 蚕沙养鱼。同时在池塘中, 部分微生物靠蚕沙为生, 供养浮游植物生长发育, 浮游动物吃浮游植物, 杂食性鱼和草食性鱼吃浮游动物, 为农民带来经济效益。鱼塘中的淤泥和鱼粪作为桑树的肥料, 完成一个完整的生态循环。学生根据教师提供的资料, 总结并绘制出此生态系统中的食物网, 结果如图1所示。

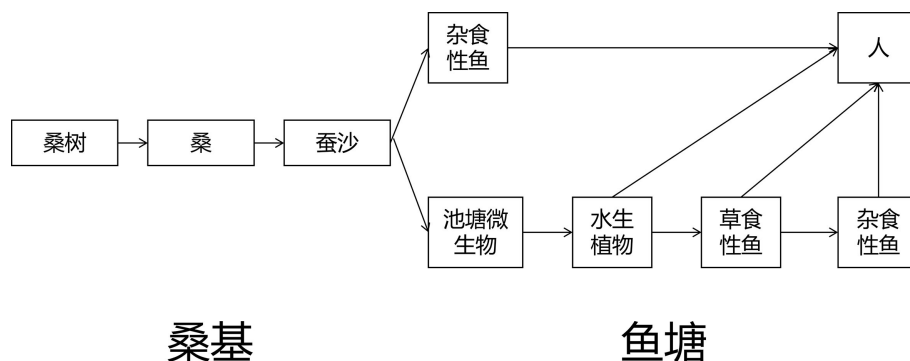


Figure 1. Food web diagram of the core food chain in Sankey-fish ponds
图1. 桑基鱼塘核心食物链食物网图

设计意图: 思维起源于问题, 由桑基鱼塘情境问题开始, 驱动学生思考。通过对资料提取、信息加工, 旨在培养分析能力。

4.2. 构建模型, 培养问题解决能力

4.2.1. 活动一: 分析和推理, 构建“一来二去”模型

以此生态系统为例, 用同位素标记法, 将 ^{14}C 标记, 分别检测其在生态系统各组成成分中出现的先后顺序、形式及放射性含量[3]。结合物质是能量的载体这一生命观念, 学生发现, ^{14}C 依次出现在桑树 - 蚕 - 鱼中, 通过光合作用和呼吸作用, 由无机物形式变为有机物, 从上一营养级传给下一营养级。并通过放射性含量数据佐证, 呼吸消耗的 ^{14}C + 生长发育繁殖中有机物的 ^{14}C = 桑叶有机物中的 ^{14}C , 得出结论: 能量来源于桑叶光合作用固定的太阳能, 去向呼吸作用和生长发育繁殖。学生总结出生长发育繁殖量分为遗体残骸的能量以及流入下一营养级的能量, 初步感知能量流动通过物质来实现。

从生态系统来源去路反问学生: 1) 若桑基鱼塘周围减少桑树种植, 对该生态系统会产生怎样的影响? 2) 从夏天到冬天, 各消费者呼吸减弱, 能量传递效率又会怎样变化?

学生合作讨论, 深化认知光合作用固定的能量是唯一来源, 在初步构建模型中, 从正向结论到反向

验证，强化学生对能量来源去路的认知，主动理解并整合知识。

设计意图：适当的提问激活学生的思维，问题聚焦因果关系，逐层追问引导学生进行因果推理及逻辑论证，旨在培养学生高阶思维中的分析与评价能力。

4.2.2. 活动二：迁移和应用，完善“一来三去”模型

从桑基到鱼塘，学生在鱼塘食物链中验证上一模型。鱼塘中的浮游植物作为生产者，光合作用固定太阳能，一部分呼吸作用散失，一部分流向草食性鱼类生长发育繁殖。数据表明，对池塘中提取的水样分析检测微生物，发现部分细菌真菌也被标记上 ^{14}C ，教师提问：微生物如何被荧光标记上？通过问题，学生跳出原有的模型，从微生物的功能出发，分析出其主要功能为分解转化物质，进行正常的生命活动(如固氮、硝化作用等)。那么哪些物质能够为微生物工作提供原料？学生进一步思考，从鱼入手，可知鱼的遗体残骸和粪便即流向分解者的物质。因此，三去指的是呼吸作用散失的能量、流向下一营养级的能量以及被分解利用的能量。

继续对遗体残骸和粪便量进行研究，结合生物大分子的内容，学生探究两者能被荧光标记的原因。鱼类将上一营养级传递的能量同化为自身组成结构，最后变为遗体残骸；而粪便属于未被此营养级同化，属于上一营养级的能量，浮游植物中的纤维物质同样也可被标记。由此，区分摄入量 and 同化量的关系，摄入量大部分被同化，用于生长、发育和繁殖，小部分未被消化分解变为粪便。同时学生关注到蚕沙属于蚕的粪便，来自于蚕，去向鱼塘，是连结桑基和鱼塘的纽带，不属于任一营养级。在蚕沙中间链中，微生物不仅可以充当分解者也能作为消费者，因此，生物可以根据环境、需求等影响因素，改变自己在生态系统中的角色。

设计意图：通过生态系统组成成分分析，迁移应用巩固旧知，辩证性看待生物在生态系统中的功能和作用，旨在培养学生高阶思维中评价与综合能力，促进其形成辩证思维与系统观念。

4.2.3. 活动三：统筹和整合，修正“一来四去”模型

一来三去模型中，能量来源与去路不等，存在能量缺口，学生寻找另外的去路。在整个生态系统中，学生往往会忽略最终营养级，即人类。学生发现人类在整个生态系统中具有巨大的调节作用，也是这个生态系统的最高营养级。鱼塘中能量流动率在10%~20%之间，而剩余的能量就是第四个去路，即未利用的能量，此处未利用包含未被捕捞的鱼及未来得及被分解的遗体中包含的能量。

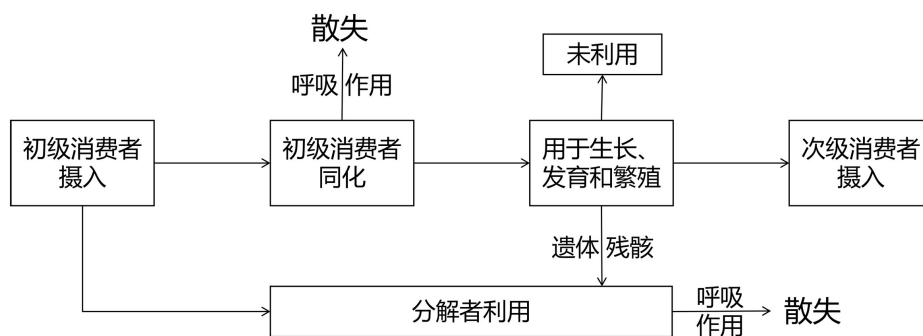


Figure 2. Energy flow diagram of primary consumers

图2. 初级消费者能量流动图

为学生提供能量各来源去路的卡片，学生尝试构建完整的模型。在构建过程中，学生往往会模糊摄入量和同化量概念，分析其错误是由于忽略了粪便量，外界食物/能量→摄入量→同化量+粪便。学生再次思考构建方式，完善某一营养级能量流动模型，教师归纳总结，得出的流动图如图2所示。在构建过

程中,从部分到整体,从某一营养级到整个生态系统,学生总结并明确能量流动模型各来源去路的意义。基于合理化的数据证据,借助物质将能量“有形”,将能量流动定量。逐步完善并构建出能量流动模型,横向能量逐级递减,纵向能量在传递中保持稳定。

设计意图:通过构建能量流动图,对比完善每一营养级能量流动方向,在动手操作中培养学生的系统思维。

4.3. 问题探究, 培养批判性思维

展示赛达伯格湖能量流动的视频和林德曼对其研究的定量数据。基于事实和证据,学生验证刚构建的能量流动模型,感受到能量流动规律对生产实际的指导性意义。再结合资料,对比桑基鱼塘,学生思考:1) 桑基鱼塘和赛达伯格湖能量流动的终点是什么? 2) 若没有人为干预,桑基鱼塘和赛达伯格湖分别会怎样? 3) 和桑基鱼塘相比,为什么赛达伯格湖物种比它多? 未利用能量多? 这样的优势有哪些? 结合生产实际、地理环境等分析可知,桑基鱼塘最终流向人类,而赛达伯格湖流向分解者。人为活动、环境和生物之间是相互作用的。对比人工生态系统和自然生态系统的异同点,透过现象,看到在任何生态系统中能量流动的本质。两种生态系统的核心都是物质循环和能量流动的统一,能量驱动物质循环,物质是能量的载体,两者相互作用,达到动态平衡。

设计意图:通过数据分析,多角度多方面思考能量流动合理性,学生批判性看待问题及尝试解决问题,培养学生评价能力。

4.4. 多元评价, 培养创造性思维

针对桑基鱼塘,人为干预既是此生态系统的优势也是不足,失去人为干预,桑基鱼塘会走向干涸。请学生尝试设计一些方案来维持桑基鱼塘的稳定性,包括但不限于从缩短食物链、人为干预调整能量输入等角度入手。通过开放性问题,分析问题的本质,优化能量利用率,这也是生态系统能量流动的意义。

最后,总结生态系统能量流动特点“单向流动、逐级递减”,食物链越短,能量损耗就会降低,也回应导入环节的问题:为什么农民不直接卖桑叶,而是用桑叶喂蚕。接着,给学生介绍生态瓶的制作,包含其基本组成及影响其稳态的因素等。课后小组合作完成制作,并模拟人工生态系统——桑基鱼塘,验证人工生态系统的稳定性。学生在设计微型化、小巧化的生态瓶的实践中,提高创新能力。更直观地观察到生态系统的稳态是如何保持的,让知识从抽象到具体。从整体出发,关注系统思维培养,注重分析生态瓶整体结构及微小的动态变化,找到其背后蕴含的关联规律[4]。在小组合作中,深化对本节课的理解,全面提升科学探究、社会责任等核心素养。

高阶思维是综合性思维,教学活动的本质就是面对不同情境中的问题,激发思维层层进阶。对桑基鱼塘情境进行分析,在构建出食物链食物网的基础上,发展学生的问题解决能力。而在模型逐步构建中,学生重塑知识体系,不断修正模型的过程也是修正思维的过程。同时,通过开放性的生态瓶制作,锻炼了学生的动手操作能力,既在实践中发展学生的创新思维,又能对其思维进行表现性评价[5]。对不同维度的高阶思维设计不同类型的教学活动,运用问题串、模型构建等教学方法,设置不同的评价标准,对不同的学生进行有针对性的培养,由“对学生的评价”转变为“为了学生发展的评价”,发展学生的高阶思维。

5. 教学不足及反思

本研究以“生态系统的能量流动”为主题,通过建立“情境选择-模型建构-迁移应用”三位一体的教学设计范例,旨在通过真实情境驱动、模型思维进阶与跨情境迁移,促进学生高阶思维的发展。尽

管该范例具有一定的可操作性,但由于高阶思维内隐性、抽象性特点,难以通过单节课捕捉到学生思维水平的显著变化。因此,该内容的教学效果有待更长周期的教学实践及多维度评价体系加以检验。

值得指出的是,该“情境选择-模型建构-迁移应用”范例具有跨学科实践推广的潜力,适配于生物学多个具有过程性或机制性的章节内容,如种群数量变化中构建增长曲线模型、人体内环境、稳态中稳态调节机制的模型构建等。综上所述,后续研究可进一步聚焦于该设计范例在不同主题中的迁移应用,检测其在生物学高阶思维培养方面的普适性。

参考文献

- [1] 马淑风,杨向东. 什么才是高阶思维?——以“新旧知识关系建立”为核心的高阶思维概念框架[J]. 华东师范大学学报(教育科学版), 2022, 40(11): 58-68.
- [2] 钟功甫. 珠江三角洲的“桑基鱼塘”——一个水陆相互作用的人工生态系统[J]. 地理学报, 1980(3): 200-209+277-278.
- [3] 陈鹏. 基于概念模型构建的“生态系统的能量流动”一节的教学设计[J]. 生物学通报, 2018, 53(4): 25-28.
- [4] 程珊,毕诗秀. 基于核心素养的主题式单元教学设计与实践——以生态系统的稳态、平衡与可持续发展主题为例[J]. 生物学通报, 2022, 57(7): 23-27.
- [5] 杨晓,毛秀荣. 高阶思维的内涵、生成与评价[J]. 教学与管理, 2020(30): 22-25.