模型驱动的科学探究进阶与跨学科实践

——以“植物喂养”项目式学习为例

宋博阳[1],伍天浩[2],张丽蓉[3]

[1.高阳县蒲口镇蒲口中学,河北保定 071000;2.深圳市高级中学,广东深圳 518000;
3.深圳市南山区文理实验学校(集团)文理二小,广东深圳 518000]

摘　要:针对初中科学抽象概念教学中存在的认知建构困难、跨学科实践虚化等问题,以模型驱动与学习进阶为双核引领,依托“植物喂养”项目式学习,构建了“经验—映射—关联—系统—整合”五阶探究路径。结果显示,学生在模型制作、控制实验与数据分析中,自主揭示了溶质浓度差驱动质量流量的核心规律,深度建构了压力流学说概念体系。更为重要的是,实践表明,该路径不仅有效促进了学生认知的逐级攀升,更实现了跨学科素养的深度整合,为初中科学跨学科实践提供了兼具可操作性路径与理论解释力的范本。

关键词:学习进阶;模型驱动;跨学科实践;压力流学说;“植物喂养”;科学探究;项目式学习

DOI:10.19935/j.cnki.1004-2326.2026.09.014

引用格式:宋博阳,伍天浩,张丽蓉.模型驱动的科学探究进阶与跨学科实践:以“植物喂养”项目式学习为例[J].实验教学与仪器,2026,43(09):60-66.

《义务教育科学课程标准(2022年版)》(以下简称《课标》)强调“做中学”“创中学”,倡导通过跨学科实践培育学生的科学素养与工程思维。然而,在初中科学教学中,针对“植物体内有机物的运输”等抽象概念,学生常陷于机械记忆结论的困境,难以洞察其动力机制,更遑论迁移应用。模型制作与项目式学习虽被视为破局良方,但在实操中易因缺乏“认知脚手架”支撑,沦为“为动手而动手”:学生虽能堆叠材料制成筛管模型,却无法关联结构与功能的适应性;虽完成了“环剥枝条”实验,却未构建起“有机物运输路径”的动态图景,最终导致概念建构浅表化与认知进阶序列断裂,背离了深度学习初衷。

学习进阶理论为刻画学生认知的连贯发展提供了框架,而模型驱动教学则使抽象概念具象化、可操作。笔者决定整合二者,以“植物喂养”项目式学习为载体,设计“经验→映射→关联→系统→整合”五阶探究路径。该路径可引导学生围绕“可视化观察植物体内有机物运输”核心任务,在模型制作、控制实验与数据分析中自主建构压力流学说核心概念。首先,阐述设计的理论基础与架构;继而,呈现教学实践过程,分析教学效果与认知进阶表现;最后,反思实践局限,提炼基于“学习进阶—模型驱动”的跨学科教学范式,以期为初中科学抽象概念的教学提供实证参照。

1　问题提出

1.1　初中科学教学中的抽象概念困境

“植物体内有机物的运输”是初中科学中的典型抽象概念。在传统教学中,学生虽能机械记忆“筛管运输有机物”的结论,但对其动力机制(如筛管内的压力差驱动、环割增产的生理学基础)缺乏深层理解。传统教学多依赖静态图示、动画模拟或语言讲解,导致学生缺乏具身认知体验与深度思维参与,概念建构多止步于浅层表征,难以实现有效迁移。

1.2　跨学科实践的价值与挑战

《义务教育课程方案(2022年版)》强调“加强知行合一、学思结合,倡导‘做中学’‘用中学’‘创中学’”;《课标》进一步将“模型建构”列为科学思维的基础能力,倡导通过模型分析、解释现象与数据[1]。模型制作作为跨学科实践的关键载体,能将抽象概念具象化,整合多学科知识与技能。模型不仅是教学工具,更是承载科学理论的“可操作的理论”,并作为认知中介,引导学生在调试、观察与改进中建立对科学原理的直观理解[2]。

然而,跨学科实践面临现实挑战:如何避免“为动手而动手”,使模型切实服务于核心概念建构?如何引导学生自主生成有价值的探究问题?如何在有限的课时内,依托学习进阶理论实现认知的连贯进阶?这些问题亟须

系统的理论与实践探索[3]。

1.3 研究问题

基于上述分析，笔者依托“植物喂养”项目式学习，聚焦以下核心问题。

（1）如何构建模型驱动的探究路径，以促进学生认知的连贯进阶？

（2）如何在跨学科实践中引导学生自主建构“压力流学说”（即液流由输导系统两端的压力差驱动）这一核心概念？

（3）该模式对学生的科学探究能力、工程实践能力和跨学科素养具有何种促进效应？

2 课程设计：模型驱动的探究进阶框架

2.1 理论基础：学习进阶理论

学习进阶（Learning Progressions，LPs）是指学生在较长时间内学习特定核心概念时，依次习得并不断深化的思维路径与发展框架[4-5]。基于学生认知发展规律，学习进阶可划分为五级水平[4]：经验水平——积累零散事实，尚未形成关联；映射水平——建立事实与学科术语的初步对应；关联水平——构建术语与多事实的逻辑联结；系统水平——协调系统内多变量的相互作用；整合水平——形成稳定的学科观念与跨学科概念。

据此，笔者基于模型驱动与学习进阶形成双向互促机制：一方面，学生借助承载认知进阶的“透明植物”模型，通过操作、观察并迭代，推动认知从零散经验向系统概念跃迁；另一方面，进阶框架赋予模型阶段性功能——初期充当具象模拟工具，中期转化为变量探究平台，后期升华为理论验证媒介。这一融合机制确保了学生认知在5个进阶水平上的连贯发展与逐级攀升[4-6]。

2.2 课程整体架构

“植物喂养”课程以“如何实现植物体内有机物运输的可视化观测”为核心驱动性问题，构建为期三课时的项目式学习序列。课程深度融合科学（S）、技术（T）、工程（E）、数学（M）四维视角[7]，引导学生在模型设计与制作、问题发现与提出、实验探究与概念建构的递进式活动中，实现认知的连贯进阶（表1）。

表1 课程目标体系

学科维度	具体目标
科学（S）	解释环割增甜现象；理解压力流学说原理；设计控制变量实验；从数据中归纳规律
技术（T）	安全使用剪刀、锥子等工具；使用秒表进行定量测量；操作模型并排除故障
工程（E）	设计并制作“透明植物”模型；解决“无气柱连接”等工程问题；反思模型的局限性并提出改进措施
数学（M）	进行长度、时间测量；计算流速（$v=s/t$）和质量流量（m/t）；整理数据并分析趋势

2.3 进阶阶段划分与课时安排

根据学习进阶理论[4-5]，结合课程内容特点，将3课时划分为4个动态递进的进阶阶段（表2），明确各阶段核心活动、认知进阶点与STEM融合方向。进阶路径如图1所示。

表2 进阶阶段与课时安排

进阶阶段	课时	核心活动	认知进阶点	STEM融合
经验→映射	第一课时（前段）	环割冲突、模型设计	从零散经验到模型要素的映射	S:认知冲突；E:设计思维
映射→关联	第一课时（后段）+第二课时	方案优化、制作、观察差异	从模型要素到变量关联的建立	T:工具使用；M:测量记录
关联→系统	第三课时（前段）	控制实验、数据分析	从变量关联到系统规律的发现	S:实验设计；M:数据处理
系统→整合	第三课时（后段）	概念建构、迁移应用	从规律发现到跨学科整合	S:概念建构；E:模型批判

3 教学实施：进阶路径的实践呈现

3.1 阶段一：经验→映射（模型：模拟工具）

（1）认知冲突的创设。教师展示果树环割后的生长照片，抛出驱动性问题：“这是一棵枣树，果农在树皮上环割了一圈。令人费解的是，受损树木的坐果率与甜度反而提升。树皮中究竟蕴藏着怎样的运输奥秘？”学生基于前概念给出了多元假设：或认为“树皮内有输送养分的通道，环割阻断了下行运输”，或推测“创伤刺激了树体养分合成”。教师并未急于评判，而是进一步追问：“叶片光合产物需转运至果实。若能建构一个‘透明植物’模型，直观观测‘食物’的流动路径，是否能揭示这一机制？”该追问成功地将抽象的生物学问题转化为具象的工程挑战。

（2）模型要素的映射。教师提供饮料瓶、滴管、吸管、蔗糖、水等器材，引导学生分组研讨并绘制设计方案（图2）。多数小组确立以下映射关系：以饮料瓶模拟源器官（叶），透明滴管模拟输导组织（筛管），红糖水溶液（着色）模拟光合产物（有机物），水瓶模拟库器官（根），顺利完成了“生活原型—模型要素—科学术语”的映射。关于动力



图 1　进阶路径

机制，小组间出现认知分歧：部分学生认为重力驱动溶液下行，部分主张需外力挤压，少数学生提出“高浓度区域具有吸水倾向”的猜想。同时，学生开始关注技术细节，如“如何确保滴管入口端无气柱残留？”等，这些问题的涌现，标志着学生思维已从“随意拼搭”转向“有目的的工程规划”，从而为后续模型迭代奠定了基础。

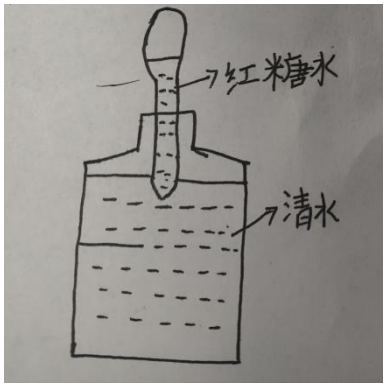


图 2　学生绘制的模型设计方案草图

（3）设计优化与问题聚焦。教师巡视各组设计图，通过追问引导学生关注模型的可观测性与可控性：“光合产物本身无色，如何使其可视化？”“如何在不触碰模型的前提下，验证‘浓度差驱动’的猜想？”学生随即提出一系列关键问题：“能否用色素给‘食物’染色？”“怎样改变两端的浓度差？”“如何确保滴管完全充盈以排除空气阻力？”这些问题直接指向了后续实验变量的控制与观测指标的确立，表明学生已初步具备通过模型开展实证探究的意识，为下一阶段的控制实验与概念建构奠定了坚实基础。

3.2　阶段二：映射→关联（模型：变量探究平台）

（1）工程实践中的迭代优化。第 2 课时，学生依据设计图动手组装装置（图 3）。针对典型的工程问题，学生展开了如下调试：①气密性故障——部分小组观察到滴管连接处糖水停滞，教师引导学生排查，发现滴管顶端存有气泡。学生通过反复吸取、挤压滴管排除空气，最终攻克了“无气柱连通”的技术难点；②接口适配问题——学生通过调整孔径或采用热熔胶密封，解决了开孔大小不适宜导致的渗漏问题。这一过程使学生完整经历了“问题识别—原因分析—方案尝试—迭代改进”的真实工程实践循环，切实发展了技术与工程素养。



图 3　学生制作的“透明植物”实物模型

（2）现象观察与差异发现。装置运行后，学生细致观察并记录糖水在滴管中的扩散行为：“糖水像烟雾一样慢慢散开”“流速极慢，许久才到达 10 cm 刻度处”。教师随即组织组间数据共享，引导学生对比发现流速的显著差异，并抛出核心问题引发认知冲突：“第一组报告流速较快，第二组却报告流速极慢。造成这种差异的变量可能是什么？”

（3）变量识别与控制。基于观察到的差异，学生自主提出可能影响流速的因素：糖水浓度、滴管内径、插入深度、环境温度等。教师将假设写在黑板上，并引导学生聚

焦变量的可操作性:“哪些变量易于控制?哪个问题最具探究价值?”经全班研讨,确定以“浓度对流速的影响”为核心探究变量。这一环节完整呈现了学生“从现象观察中发现问题—基于经验提出猜想—聚焦可探究变量”的科学思维过程[8]。至此,模型正式转化为变量探究平台,推动学生的认知从“映射水平”向“关联水平”进阶。

3.3 阶段三:关联→系统(模型:变量探究平台)

(1)控制变量实验的实践。第3课时,学生基于前期研讨,明确实验变量:自变量设定为糖水浓度(10%、20%、30%);控制变量包括同一滴管规格、相同测量长度(10 cm)、恒定环境温度等;因变量为流经10 cm所需时间,并据此计算平均流速。为提高数据可靠性,每组实验重复3次取平均值。

(2)数据采集与初步处理。学生分组操作,规范记录实验数据并进行初步处理。典型小组的实测数据如表3所示。

(3)规律的发现与认知冲突。数据分析揭示了一个“反直觉”现象:糖水浓度越高,表观流速越慢(10%:1.918×10^{-2} cm/s;30%:1.084×10^{-2} cm/s),但质量流量(单位时间内流经的物质总量)却显著增大(10%:3.84×10^{-4} g/s;30%:6.50×10^{-4} g/s)。这一矛盾引发了全班激烈的思维碰撞。学生结合模型装置展开讨论:“浓度高流得慢可能是因为糖水更稠(黏度高),但单位时间内运过去的蔗糖确实更多。”该认知冲突迫使学生的思维从单一的“流速”观察转向对“流量”与“浓度”关系的深层考量,初步萌生了“浓度差驱动运输”的朴素观念。依托模型开展的定量探究,成功地将学生的认知从“关联水平”推向“系统水平”——协调“浓度”“流速”“流量”等多个变量的相互作用,为建构压力流学说奠定了实证基础[9]。

3.4 阶段四:系统→整合(模型:理论验证媒介)

(1)科学概念的建构。教师追问:“为何浓度越高,质量流量反而越大?”学生基于模型现象提出朴素假设:“糖水浓的地方会‘吸’水,产生压力差,推动糖水流向稀的地方。”教师顺势引入科学概念:“你们的发现与科学家提出的压力流学说高度契合。在植物体内,源端(如叶片)合成有机物,筛管内溶质浓度高,水势低,从而渗透吸水产生膨压;库端(如根、果实)消耗有机物,浓度低。源库两端的压力势差驱动有机物在筛管中定向流动[9]。”通过模型的定量验证,学生成功实现了从“实验规律”到“科学理论”的认知对接。

(2)迁移应用。教师回扣导入的环割问题:“果农环割果树后,为何果实更甜?”学生运用新建构的概念解释:“环割切断了韧皮部中的筛管,阻断了有机物向根的向下运输,导致光合产物在切口上端(果实部位)积累,从而提升了甜度。”“这相当于人为切断了运输通路,破坏了源库间的压力差平衡,使有机物无法下行。”

(3)模型反思与迭代。教师延伸提问:“我们的模型与真实植物相比,存在哪些差异?”学生通过批判性分析指出:“真实植物可实现同化物在筛管中的双向运输,而模型仅能单向流动”“真实植物的生命活动可调节运输速率,模型则相对被动。”基于此,学生提出了进阶设想:设计双源双库结构模型,模拟双向运输;加装温控模块,探究温度对黏度和流速的影响等。这一环节不仅巩固了学生对压力流学说的理解,更推动了学生的认知从“系统水平”向“整合水平”的跃迁,有效培养了他们的批判性思维与工程迭代意识[2-8]。

4 教学效果与分析

以笔者所在学校初一年级2个班共96人为对象,开展概念理解前测/后测、探究能力量表测评。围绕三大探究问题梳理教学效果。

4.1 认知进阶的达成情况

(1)整体认知进阶效果。①概念理解测试:前测中,压力流学说核心概念正确率为32.6%,能完整解释环割原理者仅占18.6%;后测中,核心概念正确率提升至87.2%,能完整解释环割机制者达79.1%。经配对卡方检验,前后测差异具有统计学意义,$x^2(1)=68.3$,$p<0.01$。②探究能力测评:采用《初中生科学探究能力量表(自编)》(李克特5点计分,Cronbach's $\alpha=0.87$,信效度良好),其中“提出可探究问题”维度均分从2.1提升至4.3;“控制变量设计实验”

表3 不同浓度糖水流动实验原始数据记录

糖水浓度/%	第1次/s	第2次/s	第3次/s	平均时间/s	流速/(cm·s^{-1})	质量流量/(g·s^{-1})
10	521.5	523	520	521.5	1.918×10^{-2}	3.84×10^{-4}
20	840.5	842	839	840.5	1.190×10^{-2}	4.76×10^{-4}
30	922.5	924	921	922.5	1.084×10^{-2}	6.50×10^{-4}

注:在计算质量流量时,1 mL 10%糖水含蔗糖质量约0.10 g,20%糖水含蔗糖质量约0.20 g,30%糖水含蔗糖质量约0.30 g。

维度均分从1.8提升至4.0；“基于数据解释规律”维度均分从2.5提升至4.5。

（2）分层认知进阶差异分析。为验证模型的普适性，笔者将接受干预的实验组学生（n=96）依据前测成绩按三分位数法划分为高、中、低3个层次组（各32人），分析各组在核心概念掌握、探究能力提升上的差异化进阶表现；结果显示低层次组核心概念正确率从12.5%提升至71.9%，这表明该模型对不同基础学生均有显著促进作用，不存在认知进阶的群体排斥性。具体差异对比情况详见表4。

表4 不同层次学生认知进阶差异对比

认知阶段	高层次组（前测前为33%）	中层次组（前测中为34%）	低层次组（前测后为33%）
经验→映射	能快速建立“源端-管道-库端”映射，设计图逻辑清晰	需要教师提问、引导，才能建立术语与要素的对应关系	多停留在“瓶子代表叶子”的直观类比层次，难以抽象为“源端”
映射→关联	自主提出“浓度”“滴管粗细”等多个变量，并能解释变量之间的关联	在组间差异分享后能提出变量，但关联逻辑不够稳定	需要教师直接提示“看看糖水有什么不同”，才能发现变量
关联→系统	能独立设计控制变量实验，发现“矛盾”数据并尝试解释	能按小组分工完成实验，但规律的归纳需同伴或教师协助	数据记录基本完成，但难以自主发现流速与质量流量之间的矛盾关系
系统→整合	能自主建构并解释“压力差”概念，并批判性反思模型的局限性	能理解压力差概念，但在迁移解释环割现象时有部分引导需求	能复述“压力差”定义，但在迁移解释时依赖教师追问

4.2 压力流学说核心概念建构路径验证

学生遵循“生活现象→模型映射→变量探究→矛盾现象辨析→提炼压力差原理→迁移应用”的认知路径，完成探究过程。从前测与后测的典型观点对比可见（表5）：学生从最初“树皮里有管子，养分无法向下流动”的碎片化经验描述，进阶为“源库两端存在浓度差（对应水势差），压力势差驱动有机物运输，环割切断筛管阻断向下运输”的科学化阐释，实现了概念的结构化自主建构。

表5 学生各阶段典型观点的变化

认知阶段	前测典型表现	后测典型表现
对环割现象的解释	“养分不往下走了”	“源端浓度高、库端浓度低，压力差驱动运输，环割切断筛管”
对模型的理解	“瓶子代表叶子”	“瓶子是源端，滴管是筛管，糖水是有机物”
对变量关系的认识	“有的组流得快，有的组流得慢”	“浓度影响质量流量，浓度差产生压力差”

4.3 学生跨学科综合素养的进阶表现

（1）科学探究能力：能在观察差异后自主提出“糖水浓度是否影响流速”的探究问题；能区分自变量、因变量与控制变量，并据此设计重复测量方案；能结合模型特征发现矛盾数据并进行合理解释。

（2）工程实践能力：能绘制设计图并标注各部分功能；能规范使用剪刀、锥子等加工工具；能自主解决“气封”等工程问题[2,7]。

（3）数学应用能力：能使用刻度尺和秒表进行定量测量；能计算流速和质量流量；能规范制作数据表格、计算平均值并分析变化趋势。

上述能力的提升在访谈中得到印证：学生改变了“科学学习就是死记硬背知识点”的刻板认知，在动手探究、分析问题的过程中获得成就感，其跨学科核心素养得到系统性提升。

5 教学反思与建议

5.1 关键成功要素

（1）认知冲突的有效创设。“环割增甜”的生活化现象与学生“植物损伤会抑制生长”的前认知形成强烈冲突，有效激发了探究内驱力，为后续建模与实证奠定了内在动力基础[1]。

（2）模型是理论的具象化表征。“透明植物”模型是具象化的认知中介，兼具可观察、可测量、可调控的特征。学生在模型中归纳出“浓度影响流速”的规律，可直接对应真实植物中“水势差驱动有机物运输”的科学原理，完成了“模型具象—数据实证—理论抽象”的认知跃迁[2]。

（3）引导学生自主发现问题。教师通过组织组间数据分享，引导学生自主识别流速差异、提出探究问题并聚焦可操控变量，是培育科学探究素养的核心路径[8]。

（4）引导学生尊重异常数据，培育科学精神。当出现偏离预期趋势的异常数据时，教师引导学生排查装置气密性缺陷、计时操作误差等可能诱因，而非回避或篡改数据，有效涵养了严谨求实的科学精神[9]。

5.2 教学难点与突破策略

（1）难点1：无气柱连接的技术实现。教师不直接解决，而是通过“你们觉得滴管里有什么东西挡住了糖水”这个问题，引导学生观察、思考、尝试，最终自主解决问题。

（2）难点2：从观察差异到问题提出的引导。教师通过“为什么会有差异？可能与什么有关”等问题，引导学生聚焦变量；再通过“哪个最容易控制”这个问题，聚焦到可操作的探究问题[8]。

（3）难点3：流速与质量流量的概念区分。基于实验数据引导学生自主发现“反常现象”，在引发认知冲突后，进一步辨析二者的区别与联系[9]。

5.3 改进方向

（1）深化数据处理层次。引导学生绘制“浓度—流速”及“浓度—质量流量”关系图，强化数学建模素养；引入Excel等工具进行自动化处理，增强数字化工具的应用能力。

（2）拓展探究维度。设置“问题超市”（即多维度探究选题库），引导各小组自主选择变量（如温度、滴管口径、压力梯度等）开展有针对性的探究，最后组织成果交流与评议，拓展探究的广度与深度。

（3）优化模型迭代环节。在迁移应用阶段，增设“模型改进方案设计”活动，要求学生绘制改进草图并阐明科学依据，系统培养其工程思维[2]。

（4）保证充足的观察时长。针对观察环节时长受限的问题，建议将观察时间延长至15 min，保证学生拥有充足的时间记录现象、比较差异并自主提出问题。

5.4 模型驱动教学的深度反思：从工具到认知中介的再审视

笔者建构的“透明植物”模型在教学中发挥了关键作用，但作为一种简化表征，其本身存在固有的局限性。为提升研究的严谨性，笔者系统分析模型的优势、潜在误导、适用边界及改进路径，详述如下。

（1）模型的优势与教学价值。该模型将不可见的“有机物运输”转化为可见的“染色糖水流动”，具备以下核心优势：①可视化：将抽象的压力流学说具象化，有效降低了认知门槛；②可操控：支持学生自主改变浓度、口径等变量，实现了变量控制；③聚焦机制：屏蔽了植物体内的生命活性干扰（如细胞呼吸耗糖、内源激素调控等），引导学生聚焦于“浓度差→压力差→流动”这一核心因果关系。

（2）模型简化引发的潜在认知偏差及应对策略。模型的简化处理在降低认知负荷的同时，也可能导致学生形成过度简化认知，对此需要教师在教学中有意识地加以辨析（表6）。

表6 模型简化带来的潜在误导及教学应对策略

模型简化特征	潜在误导	教学应对策略
糖水在滴管中单向、连续流动	学生可能误以为植物筛管内有机物也是简单液体流动	补充说明筛管中有细胞质、胼胝质等结构，运输并非纯液体流动；引入“胞间连丝”“P-蛋白”等拓展知识
动力仅来源于浓度差（重力可忽略）	学生可能忽略植物自身的主动运输和代谢耗能	明确指出模型只模拟了“压力流”的物理机制，真实植物中源端装载、库端卸载需要主动运输（ATP供能）
滴管为均质刚性管道	学生可能忽视筛管的结构异质性（筛板、筛孔）	用放大镜观察真实植物茎横切片，或展示电子显微镜照片，建立更完整的结构认知
“源端”和“库端”为独立容器	学生可能难以理解运输方向的动态调节	在进阶活动中引入“双源双库”模型，演示源库角色可因发育阶段（如结果期vs.营养生长期）而转换

（3）模型的适用边界。该模型适用于初中阶段“有机物运输的动力来源”概念的建构，尤其适合在概念引入阶段帮助学生建立“浓度差→压力差→流动”的因果链条，但难以解释有机物的分配规律（如为何优先运向果实）、筛管的双向运输机制，以及温度、pH等对运输速率的复杂影响等。对此，教师须在教学中明确告知学生模型的适用范围，防止认知迁移的泛化。

（4）模型迭代的教学延伸。在迁移应用环节，可增设“模型改进方案设计”活动，引导学生针对上述局限提出优化设想。笔者引导学生提出的典型方案包括：①双向运输模拟：构建双源双库结构，通过阀门控制流向；②生命活动模拟：在“库端”加装温控模块模拟呼吸消耗，观测流速变化；③结构精细化：在滴管内增设阻隔（模拟筛板），探究结构对阻力的影响。这些方案不仅深化了学生对压力流学说的理解，更有效培养了学生的批判性思维与工程迭代意识。

综上所述，“透明植物”模型作为“可操作的理论”中介，其核心价值在于助力学生跨越“现象→机制”的认知鸿沟。毫无疑问，模型教学必须伴随认识论反思——教师应引导学生既“入乎其内”探究简化机制，又能“出乎其外”审视模型边界，从而形成基于模型认知的科学本质观。

6 结语

笔者以“植物喂养”项目式学习为载体，构建了基于学习进阶理论的模型驱动探究路径，将课程划分为4个进阶阶段，有效引导学生从零散经验逐步建构科学概念。

模型作为“可操作的理论”、认知中介与跨学科的桥梁，在教学中发挥了关键作用。跨学科实践需要以真实问题驱动学科融合，而教师则需要精准挖掘学科关联点并设计进阶路径。这既是挑战，亦是该类教学的核心价值所在。

诚然，探究进阶的实现并非单纯依赖模型的物理存在，更仰赖教师对“认知杠杆点”的精准把握。就该项目而言，学生在“源端浓度高→筛管内压力大→流速快”的理论预期与“实测流速慢但干重积累量大”的矛盾数据面前所经历的认知失衡，恰恰是撬动思维从“关联水平”跃升至“系统水平”的关键节点——这一发现昭示着，探究进阶的本质绝非活动形式的堆叠，而在于认知冲突的诱发与科学论证的深度介入。同时，上述实践也揭示了模型驱动的深层意蕴：模型不仅是学生建构概念的“脚手架”，更是教师窥探认知迷思的“显微镜”——学生在模型上的每一次调试，都映射着其对压力差机制理解的动态演变。然而，模型驱动的探究进阶亦须警惕“技术至上”的异化，即一味追求模型的复杂精巧而遮蔽了对核心机制的聚焦；亦须防止“概念灌输”的复归，即以教师的直接告知替代学生的自主发现。唯有精准把握“扶”与“放”的节奏、“具象”与“抽象”的转化、“探究”与“建构”的统一，方能令模型真正成为认知发展的助推器而非束缚思维的枷锁。这一经验对于科学课程中其他抽象概念的跨学科教学设计，无疑具有重要的参照价值。

基于上述实践，笔者凝练出“模型驱动的探究进阶”教学范式，其核心流程可概括为“认知冲突创设→模型建构与迭代→变量自主发现→控制实验探寻规律→概念迁移应用”五步法。

（1）教学资源配置。①课时安排：建议安排3~4课时，核心流程可参照笔者设计的三课时架构；②核心材料：透明饮料瓶、不同口径塑料滴管、蔗糖（配制好的10%/20%/30%溶液）、食用色素、剪刀、热熔胶枪、秒表、刻度尺、结构化学生任务单（含设计图、数据记录表、反思导引）；③评价量表：建议从“科学概念理解（40%）”“工程实践能力（30%）”“科学探究过程（20%）”“团队协作与反思（10%）”4个维度，采用“优秀/良好/合格/待改进”的等级描述法实施表现性评价。

（2）适用范围。该范式具有普适性，尤其适用于初中科学课程中物质科学、生命科学领域涉及抽象机制、系统模型及因果关系的跨学科主题学习（如“血液循环模型的制作”“生态系统稳定性模拟”“简单电路故障排查”等）。

（3）推广实施策略。①协同教研：组织跨学科教研组（理、化、生、综合实践）共同研读该案例，进行校本化调适；②试点先行：从单课时的微项目入手开展试验，逐步扩展到单元项目；③资源积累：注重收集本校学生的典型作品与问题，逐步形成校本化的进阶路径与支持策略库。此外，建议教师在推广实践中注重记录学生在各进阶阶段的典型表现与认知拐点，以丰富对该范式在不同教学情境中运行机制的理解。

展望未来，该研究的后续方向包括：开发配套的教师指导手册以降低范式推广的实施门槛，探索将人工智能辅助分析工具引入学生探究过程的数据采集与认知诊断，以及在更多学科领域（如物理电路分析、化学分子运动、地理系统演化等）中验证和完善该范式的适用边界。笔者相信，模型驱动的探究进阶之路，既是学生认知攀升的阶梯，亦是教师专业成长的镜子——唯有师生在探究共同体中彼此成就，跨学科实践才能真正焕发出培育科学素养的深层力量。

作者简介：宋博阳（1973—），男，高级教师，研究方向：中学生物学教育教学、科技教育，E-mail：2233782382@qq.com。

参考文献

[1] 中华人民共和国教育部.义务教育科学课程标准（2022年版）[S].北京：北京师范大学出版社，2022.

[2] 徐晓威.初中科学中模型教学的理论与实践[J].课程教育研究，2018（28）：170.

[3] 沙立国，夏承俊，杨封友.验收标准进阶取向的初中科学跨学科实践教学研究：以“三球运动演示模型的制作”为例[J].地理教学，2025（04）：48-51.

[4] 刘晟，刘恩山.学习进阶：关注学生认知发展和生活经验[J].教育学报，2012，8（02）：81-87.

[5] 郭玉英，姚建欣.基于核心素养学习进阶的科学教学设计[J].课程·教材·教法，2016，36（11）：64-70.

[6] 罗小飞，毛国永.基于学习进阶的初中科学复习教学研究：以“浮力”为例[J].物理教学探讨，2023，41（11）：32-37.

[7] 王田，谭洪政.STEM教育理论与实践[M].北京：清华大学出版社，2020.

[8] 汪胜军.基于项目化学习的初中科学跨学科实践：以“体验胚胎发育学家”为例[J].试题与研究，2025（16）：171-173.

[9] 刘恩山.中学生物学教学论[M].第3版.北京：高等教育出版社，2020.