

Deconstruction and Reconstruction of Salicylic Acid: Constructing a Basic Model for Understanding Organic Compounds—Teaching Practice and Reflection on High School Organic Chemistry Based on Project-based Learning

Yaping Shi

Xiamen Foreign Language School, Xiamen, Guangdong, 361000, China

Abstract

Using salicylic acid as a teaching vehicle, this study employs a project-based learning framework—“structural deconstruction, property verification, application contradiction, structural reconstruction, and innovative design”—to guide students in constructing an organic chemistry cognitive model that establishes “structure-determining properties and property-guided applications” within real-world problem scenarios. By integrating experimental inquiry with drug design, the pedagogical approach effectively enhances students’ critical thinking and core chemical competencies, providing a replicable practical case for organic chemistry education.

Keywords

project-based learning; salicylic acid; cognitive model

《水杨酸的解构与重构：建构认识有机物的基本模型》——基于项目式学习的高中有机化学教学实践与反思

施雅萍

厦门外国语学校，中国·广东 厦门 361000

摘要

本文以水杨酸为教学载体，通过“结构解构—性质验证—应用矛盾—结构重构—创新设计”的项目式学习路径，引导学生在真实问题情境中建构“结构决定性质，性质指导应用”的有机物认知模型。教学融合实验探究与药物设计，有效促进了学生的深度思考和化学核心素养的发展，为有机化学教学提供了可借鉴的实践案例。

关键词

项目化学习；水杨酸；认识模型

1 教学载体的选择与价值

有机化学作为高中化学教学的重点与难点，不仅承载着帮助学生理解化学基本原理与反应机制的重要任务，更是培养学生化学学科核心素养的关键环节。然而，传统教学模式往往侧重于结构记忆与性质背诵，导致学生陷入被动学习循环，缺乏对有机物系统性、功能性的深入理解，难以有效提升其化学学科核心素养。为了打破这一困境，本研究以水杨酸这一历史悠久且应用广泛的有机化合物为典型案例，通过项目式学习设计，引导学生从真实情境出发，通过探究与实践，逐步建构有机物的认知模型，实现从“知识接受”到“思

维建构”的深刻转变。

水杨酸作为一种天然存在的有机酸，最早从柳树皮中提取，因其具有“抗炎、抗菌、剥脱角质、祛痘、美白”等多种生物活性，与学生的日常生活紧密相连，为教学提供了丰富的素材和直观的感受。其分子结构中同时含有羧酸基团（-COOH）和酚羟基（-OH），为学生研究官能团相互作用及其对有机物性质的影响提供了绝佳的实例。此外，水杨酸及其衍生物如阿司匹林在医药领域的广泛应用，进一步凸显了有机化学在解决实际问题中的重要性，有助于培养学生的科学素养和社会责任感。

当前，关于教学研究主要集中于水杨酸的衍生物阿司匹林，对阿司匹林进行性质验证与结构分析、合成方法与路线设计以及药效与副作用研究等^[1]。而对于水杨酸本身的研究及课堂转化案例较少。为此，本研究以“水杨酸”为核心，通过“结构解构—性质验证—应用矛盾—结构重构—创新设

【作者简介】施雅萍（1998-），女，中国福建厦门人，本科，二级，从事化学教学、德育研究。

计”的完整思维路径，深度应用项目式学习模式。这一模式不仅引导学生经历从理论到实践、从解构到重构的全过程，加深对有机物结构与性质关系的理解，还培养了其系统思维、实验设计与创新解决问题的能力。

2 项目教学基础与目标设定

本课程面向高中学生，学生在之前的学习中已经掌握了一定的有机化学基础知识，如官能团的性质、化学反应类型等，具备一定的实验操作能力和逻辑思维能力。但对于复杂的官能团相互作用、化学平衡原理在实际问题中的应用以及结构修饰解决实际问题的思路和方法还缺乏深入的理解和实践经验。在教学过程中，应充分考虑学生的认知水平和学习能力，采用生动有趣的教学情境和多样化的教学方法，激发学生的学习兴趣。故设立如下教学目标：

1. 通过剖析水杨酸结构、验证性质并结合应用案例，引导学生建立“结构决定性质，性质指导应用”的思维模型，实现宏观性质与微观结构的有机融合。

2. 聚焦水杨酸中羧酸基团与酚羟基的相互作用，理解其对性质的调控规律，并思考结构修饰策略以解决实际问题，培养综合分析能力。

3. 在项目式学习中培养实验设计、操作观察等探究能力，以及逻辑推理、模型构建的科学思维，激发探究兴趣，提升科学素养与实践能力。

3 项目教学设计与实施

本研究以“水杨酸的发现与药用历史”为情境，提出核心问题：“水杨酸为何既能治病又会伤胃？如何通过结构改造实现‘扬长避短’？”通过真实情境的创设和问题驱动，激发学生的学习兴趣 and 探究欲望，使其在解决实际问题的过程中建构有机化学的认知模型。

3.1 【任务一】水杨酸的结构解构与性质验证

引导学生从分子结构出发，深入解构水杨酸的官能团特性，并通过实验验证和理论分析相结合的方式，建立“结构决定性质”的核心化学观念。通过设置“水杨酸为何具有双重酸性”这一真实问题，激发学生的探究兴趣，使其在预测性质、设计实验、观察现象、分析结果的完整科学实践过程中，自主建构对羧酸与酚羟基酸性强弱比较的认知模型。特别是通过对比实验2设计，培养学生控制变量、设计对照实验的科学思维，强化证据推理与模型认知能力。最后，通过追问水杨酸酸性强于苯甲酸、弱于苯酚的结构性原因——分子内氢键效应，引导学生从电子效应与空间效应等高级结构视角理解有机化合物的性质差异，为后续结构改造与药物设计奠定坚实的理论与方法论基础。

部分教学过程阐述如下：

[追问] 如何选择试剂设计实验证明-COOH酸性强于-OH？请利用实验现象进行论证。

[学生] 可以选择 NaHCO_3 溶液作为试剂。因为

NaHCO_3 能与酸性较强的-COOH反应生成二氧化碳气体，而不会与酸性较弱的酚-OH反应。

[追问] 如何证明-COOH参与反应而-OH未参与反应？

[学生] 可以选择 FeCl_3 溶液。酚羟基与 FeCl_3 溶液发生显色反应，生成紫色的络合物。

表1 水杨酸的性质验证实验

结构片段	性质预测	实验设计	实验现象
-COOH	具有酸性	蓝色石蕊试纸	变红
(酚)-OH	具有酸性	蓝色石蕊试纸	变红
	与 FeCl_3 显紫色	滴加 FeCl_3	变紫

表2 水杨酸酸性强弱探究实验

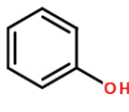
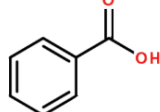
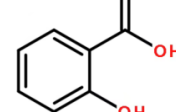
实验设计			实验现象
0.1mol/L 1ml 水杨酸	0.1mol/L 1ml 试剂	补充试剂	
-COOH	NaHCO_3	FeCl_3 溶液	产生气泡
(酚)-OH	NaHCO_3	FeCl_3 溶液	不产生气泡，溶液变紫

部分教学过程阐述如下：

[思考] 水杨酸羧基、酚羟基的位置有何特点？如何基于结构角度解释水杨酸 Ka_1 强于苯甲酸， Ka_2 弱于苯酚？

[学生] 羟基中的氢原子与羧基中的氧原子之间形成氢键，使得羧基中 O-H 极性增强，电离程度增大，羧酸解离增强 (pKa_1 升高)，削弱酚羟基解离 (pKa_2 降低)。

表3 苯酚、水杨酸、苯甲酸电离平衡常数

苯酚 $\text{ka}=10^{-10}$	苯甲酸 $\text{ka}=10^{-4.19}$	水杨酸 $\text{Ka}_1=10^{-2.97}$	水杨酸 $\text{Ka}_2=10^{-12.4}$
			

3.2 【任务二】水杨酸的应用矛盾与结构重构

本任务旨在承接任务一对水杨酸结构的深度解构，进一步创设“应用矛盾”的真实药物研发情境。通过呈现水杨酸“既有效又有毒”的双重属性，引导学生直面真实世界的复杂科学问题，激发其利用已有认知模型解决新问题的动机。任务的核心在于引导学生理解“结构修饰”是解决药物“扬长避短”问题的关键手段，并通过分析阿司匹林这一经典案例，使学生掌握从“性质预测”到“功能实现”的有机化学思维方法。最终，通过评价与改进阿司匹林、拟定说明书等环节，培养学生的批判性思维、创新意识和社会责任感，完成从知识学习到知识应用的跨越。

呈现矛盾，提出问题：教师提供材料2和材料3，揭示水杨酸在临床应用中的核心矛盾，将学生的视角从“纯化学性质”引向“生理药效与副作用”的交叉领域，明确本任务的核心驱动问题：如何通过结构改造，在保留药效的同时，

降低或消除伤胃的副作用？

分析关系，确定改造策略：学生结合任务一得出的“水杨酸羧基酸性强”的结论以及材料 4，进行小组讨论，分析结构 - 性质 - 药效 - 毒性的关系（见表 5），因此学生很容易推导出结构改造的初步方向：必须保留邻位取代的芳酸结构，但对酸性较强的羧基或易氧化的酚羟基进行修饰，以降低其酸性、提高稳定性。而教师追问“如何改造？”促使学生调用“酯化反应”等已有知识，提出将羧基酯化的初

步设想。

经典案例验证：阿司匹林的结构与功能分析：教师引入材料 5，介绍将水杨酸羧基酯化为乙酰水杨酸这一成功范例。将学生提出的理论改造方案与真实药物史中的经典案例“阿司匹林”进行对接，通过实验探究验证其合理性，让学生获得学以致用科学成就感。通过模拟水解实验（见表 7），将抽象的“前药”概念和“官能团转化”性质转化为可视化的实验现象，培养学生的实证精神和证据推理能力。

表 4 材料 2-5

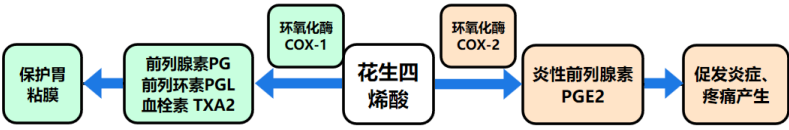
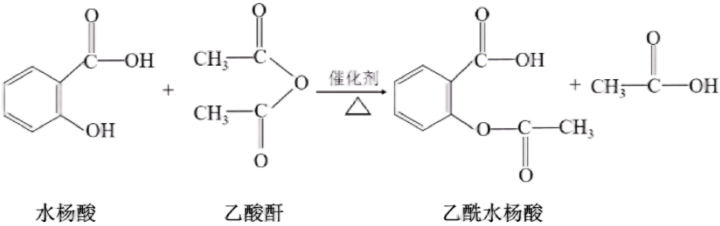
[材料 2]	水杨酸具有抗炎镇痛的药效，可以治疗炎症引发的疾病，如心血管疾病。但直接服用水杨酸易致胃黏膜损伤，引起胃溃疡及胃出血。
[材料 3]	<p>治疗炎症生理机制：水杨酸分子对抑制肠胃中的 COX-2 酶可抗炎镇痛，抑制 COX-1 酶减弱胃保护^[2]。</p> 
[材料 4]	<p>水杨酸的结构与药效的关系：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 水杨酸 -OH 与邻位 -COOH 形成分子内氢键，是识别抑制 COX 酶的基础。 2. 水杨酸的 -COOH 产生抗炎活性，若酸性降低则抗炎作用减弱；酚 -OH 易被氧化。 3. 水杨酸在胃中以分子存在，易穿过胃黏膜，导致细胞内酸性增强而产生刺激。
[材料 5]	<p>乙酰水杨酸，又名阿司匹林。其制备优点是相比较酯化反应，条件更温和，产率高，副产物少，制备过程如下^[3]：</p> 

表 5 学生分析结构 - 性质 - 药效 - 毒性的关系

药效基础	酚羟基 (-OH) 与邻位 -COOH 形成的分子内氢键是识别并抑制 COX 酶的关键药效基团。
活性与副作用来源	羧基 (-COOH) 是产生抗炎活性的重要基团，但其强酸性也是胃刺激性的直接来源。
吸收机制	水杨酸在胃的酸性环境中以分子形态存在，易被吸收进入胃壁细胞，在细胞内（中性环境）电离析出 H ⁺ ，导致细胞内酸中毒，引发刺激。

表 6 学生基于分析对水杨酸结构进行重构

方案	变化	思路
1	将羧基酯化 (-COOH → -COOR)	掩盖酸性强的羧基，降低整体分子极性。
2	成盐 (-COOH → -COONa)	中和羧基的酸性，直接生成盐。
3	将酚羟基醚化或酯化 (-OH → -OR)	保护易氧化的酚羟基，提高药物稳定性。
4	同时修饰羧基和酚羟基	综合以上，提高稳定性和降低刺激性。

表 7 阿司匹林在模拟胃液和肠液的水解对比

实验设计	预测现象	实际现象
PH=1 HCl 溶液	无明显变化，滴加 FeCl ₃ 后未变色	无明显变化，滴加 FeCl ₃ 后未变色
PH=8NaOH 溶液	无明显变化，滴加 FeCl ₃ 后变紫色	无明显变化，滴加 FeCl ₃ 后产生红褐色沉淀
学生改进实验	阿司匹林在 PH=8NaOH 溶液水解后，先用 HCl 溶液酸化，再滴加 FeCl ₃ 后变紫色，证明水杨酸在碱性的肠液环境进行水解。	

部分教学过程阐述如下:

[思考]如何证明阿司匹林已水解?

[学生]可向反应后的溶液中滴加 FeCl_3 溶液。若出现紫色,则证明有水杨酸生成,即阿司匹林已发生了水解反应。

[讨论]阿司匹林是如何降低胃刺激并在肠部发挥药效的?

[学生]在酸性胃部环境中,阿司匹林结构稳定,未发生水解,减少微刺激。在碱性肠液环境中,阿司匹林迅速水解,释放出原药水杨酸。水杨酸被肠道吸收进入血液循环,从而到达靶点,发挥抗炎镇痛作用。

[思考]在多年的临床实验中,人们发现尽管阿司匹林已经降低了刺激性,但长期服用仍会引起胃不适,为什么?如何继续改进?

[学生]仍有极少量阿司匹林可在胃中微量水解,其水解产物水杨酸和乙酸本身也有轻微刺激。

[学生]在药片外包装一层耐胃酸、溶于肠液的包衣,确保药片全程在胃中不溶解,直至进入肠道才崩解释放,从而实现对胃的零刺激。

最后通过拟定药品说明书的活动,将化学知识精准对接生活应用,培养学生的科学社会责任。本环节通过一个对比实验,将阿司匹林“前药”设计的化学原理变得可视、可测、可证,使学生完成了从理论猜想实验验证的完整科学探究闭环。学生不仅深刻理解了酯的水解性质及其在药学中的应用,更建立了“结构修饰-性质改变-功能实现-评价改进”的系统性认知模型。

3.3 【任务三】基于水杨酸的药物结构创新设计

本教学单元终局性任务聚焦基于水杨酸的药物结构创新设计,旨在促使学生认知实现从结构解构、模仿改造到创新设计的第三次飞跃,着重考查与培养学生高阶思维,涵盖知识迁移与应用能力,即整合运用前两个任务中关于水杨酸等结构-性质-药效关系知识,激发创造性思维,让学生基于药学目标进行新颖分子结构设计与论证,在真实科研情境中体验化学创造魅力与责任感,实现核心素养深度提升。

首先教师提出设计同时具备阿司匹林和对乙酰氨基酚功能新药的核心驱动问题,并明确需理解两种药物药效基团。接着学生创新设计与成果展示,小组讨论设计出同时包含两个药物关键药效团的分子,如保留阿司匹林结构并在苯环对位引入对乙酰氨基酚特征基团的设计示例。最后进行论证与评价,学生分析新药优点,如协同增效、降低服药负担、潜在安全性优化;教师引导学生思考挑战,包括药代动力学匹配难题、代谢复杂性增加、合成难度与成本、存在“双重”副作用风险等。

任务三以开放式创新设计活动将教学推向高潮,不同于简单知识应用,要求学生创造性整合与输出知识。学生经历角色转变,感受化学创造美好生活的力量。通过对设计药物优点与挑战的双重论证,深刻体会科学创新的两面性,既

要有想象力,又要有批判性思维。该任务达成培养学生“创新意识”与“科学态度”的核心素养目标,为学生未来发展埋下科学种子。

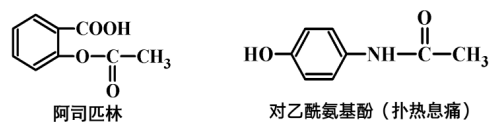


图1 阿司匹林与对乙酰氨基酚的结构

4 项目教学反思及展望

本教学实践以水杨酸为贯穿始终的教学载体,成功实施完整项目式学习单元。通过三个层层递进的任务,学生不仅深度掌握羧酸、酚、酯等官能团核心知识,更亲身经历并建构“结构→性质→功能”的有机物认知模型,体验从发现矛盾、分析问题到创造性解决问题的科学全过程。

本研究核心亮点在于超越传统有机教学,构建深度学习范式。在教学实践中,于学生能力培养与素养落地层面成果显著。认知模型建构上,学生以“水杨酸为何伤胃”为核心问题,沿结构解构、性质探究、矛盾分析、结构重构到创新设计的完整思维链条推进,将“结构决定性质”这一化学核心思想转化为可操作、探究的教学活动,形成的认知模型根基扎实、应用性强且可迁移;科学思维培养方面,三个任务各有侧重,从任务一实证推理设计实验验证酸性,到任务二分析应用原理解决“伤胃”问题,再到任务三评价创新设计新药并论证优劣,学生的思维由低阶迈向高阶,实现质的飞跃,批判性思维与创新意识得以极大激发;学科融合与素养落地上,课程有机融合化学、药学、生物学及医学等多学科知识,以解决真实问题为逻辑主线,自然展现化学的中心学科应用价值,让“科学态度与社会责任”等核心素养成为学生切身体会与实践的内容。

本次教学实践为教学改革提供启示:“精”于载体选择,选内涵丰富、贴近生活的核心载体是项目式学习成功关键;“巧”于任务设计,任务应构成逻辑严密的“问题链”。展望未来,可引入计算化学手段,让学生直观观察抽象概念;引导学生调研真实药物,对比分析加深对药物设计权衡艺术的理解。本研究为深化中学化学教学改革提供了可借鉴的实践案例。

参考文献

- [1] 孙磊,宋锐,孙国辉,等.以化学史为真实情境的有机合成教学——以水杨酸、阿司匹林及其衍生物的合成为例[J].化学教育(中英文),2021,42(03):13-19.DOI:10.13884/j.1003-3807hxjy.2019120124.
- [2] 蔡瑜,沈锡中,王吉耀.水杨酸类药物在炎症性肠病治疗中的问题与对策[J].中华消化杂志,2006,(01):69-70.
- [3] 叶晓镭,韩彬.阿司匹林制备实验的改进和充实[J].实验科学与技术,2004,(04):100-101.