

•专题•

doi: 10.3866/PKU.DXHX202309017

www.dxhx.pku.edu.cn

编者按：药物是人类战胜疾病、保障生命健康的重要武器，培养“懂医精药、善研善成”的高水平拔尖药学人才成为当前教育工作者的任务。药物研发是一个复杂、漫长的过程，其研发链条涵盖靶标确证、药物设计、活性评价、成药性评价、临床试验等一系列环节，与无机化学(配位化学、元素化学、生物无机化学)、有机化学(生物有机化学)、分析化学、物理化学、药物化学、生物化学、化学生物学等许多化学基础课程或药学专业课程存在紧密的联系，药物开发前沿进展中也蕴含着丰富的化学知识与原理。大学教师的教学与科研联系紧密，课堂教学中积极介绍一些科学前沿实例与研究型案例素材，能使教学内容与时俱进，营造参与性研究的氛围，与学生产生共鸣，提高学习的主动性。为推广介绍与化学基础课程相关的药物研发前沿案例，提高课程的高阶性、创新性、挑战度，增进学生对学科前景以及学科交叉的认识，以及为培养高素质的本科生及创新型的研究生奠定基础，《大学化学》推出了“大学化学基础与创新药物研发前沿”专刊，共发表文章15篇，希望这些丰富的案例能成为案例教学、探究式教学、科研转化教学的重要素材。

浅析药学本科及研究生教学案例库素材的挖掘途径

展鹏*

山东大学药学院，济南 250012

摘要：案例教学是提高教学质量的重要抓手。其中案例素材的搜集和整理是关键环节，本文以药学专业相关课程为例，结合具体实例总结了挖掘和梳理教学案例库的常见途径。

关键词：案例教学；教学研究；药学；教学方法

中图分类号：G64；O6

An Analysis of the Exploration Approaches for Mining Teaching Cases Materials in Undergraduate and Graduate Pharmaceutical Education

Peng Zhan *

School of Pharmaceutical Sciences, Shandong University, Jinan 250012, China.

Abstract: Case-based teaching is an important lever for improving teaching quality. The collection and organization of case materials are crucial steps. This article takes pharmaceutical-related courses as an example, and combines with specific instances, summarizes common approaches for mining and organizing teaching case libraries.

Key Words: Case teaching; Teaching research; Pharmacy; Teaching method

作为人类抵御疾病、保障健康的重要武器，药物在促进人类健康和社会进步方面具有不可替代的作用，尤其在新冠疫情期间表现得更加突出。党的二十大报告特别强调了“推进健康中国建设，

收稿：2023-09-04；录用：2023-10-09；网络发表：2023-10-16

*通讯作者，Email: zhanpeng1982@sdu.edu.cn

基金资助：2023年度山东大学教育教学改革研究项目(334)；山东省研究生教育质量提升计划项目(SDYAL20017)；山东大学齐鲁医学特色本科教育教学研究项目(qlyxjy-202309, qlyxjy-202106)；山东大学课程思政示范建设立项项目(2021S22)；山东大学教育教学改革研究项目(2021Y026, 2019Y278)；山东大学齐鲁医学部本科教学改革与研究项目(qlyxjy-202010)

把保障人民健康放在优先发展的战略位置”的重要性。生物医药作为朝阳产业，在药物研发、生产、销售和使用各个环节都需要培养出高水平的药学人才，以实现科技自立自强，并确保“把生物医药产业发展的命脉牢牢掌握在我们自己手中”。然而，身为从事药学教学与科研的一线教师，我们应该清醒地认识到目前中国缺乏具备新药研究原始创新能力的高端人才是制约该领域科技自立自强的关键因素。因此，培养“懂医精药、善研善成”的高水平拔尖药学人才成为当前教育工作者的重要任务^[1,2]。

高水平药学人才的培养应该从本科生抓起，许多高校正在实施本科-研究生贯通制培养模式。作为药学专业化学基础课程的一线教师，笔者认为，一些基本化学原理对人才培养和教学改革具有重要的启发。例如根据热力学第二定律，世界是熵增的过程。薛定谔认为，一切生命以负熵为生。让学生接触学科前沿、学习最新知识相当于摄入“负熵”^[3]，这是使他们成长、富有活力与创造力的重要途径。然而目前多数教材内容相对陈旧，已经远远不能满足新时代教学的需要。例如，药物设计中备受关注的蛋白降解策略以及细胞治疗等生物疗法，在大多数生物化学及药物化学教材中鲜有介绍。此外，在当前的信息时代和智能时代，新资讯、新文献层出不穷，但是过于“碎片化”，因此，对新知识的重构和有序化，也是增加“负熵”的重要方式。

案例教学是教材之外引入大量学术前沿与新资讯的有效手段^[4]，以教学案例为抓手，可以培养学生的“建构主义”“专题学习”“关联学习”等学习能力，通过问题导向、“用以致学”、“输出带动输入”养成调动基础知识进行创新创造的能力，对知识的学习达到举一反三、融会贯通、触类旁通的效果。因此，案例教学成为提高课堂教学质量的重要途径。其中对素材的搜集和整理是将碎片化信息重构和有序化的关键。本文以药学专业相关课程为例，结合具体实例总结了挖掘和梳理教学案例库的常见途径。

1 从药物研发的前沿成功案例中挖掘案例

从新药研发的前沿进展中寻找素材来构建教学案例，是多数教师能想到和做到的^[5-7]。在过去三年新冠疫情期间，抗新冠药物研发是药学领域新策略与新技术的集中体现，代表着药学研究者的高水平智慧，蕴含着丰富的案例素材^[8]，例如核苷酸类药物、基于共价机制的抗病毒药物等，可用于药物化学、有机化学、生物化学等课程。每年新上市的药物也是寻找案例库的重要素材。例如，2020年，美国食品药品监督管理局(Food and Drug Administration, FDA)批准上市的用于治疗头虱的金属蛋白酶抑制剂Abametapir，化学结构属于典型的配合物双齿配体^[9,10]；用于治疗铜沉积病(Wilson病，一种罕见的遗传性疾病)的曲恩汀(Trientine)，是一种多齿配体型的铜离子螯合剂^[11]。这两种药物均可以作为无机化学中配位化合物的新案例。

2 从中国古籍与现代科学的角度挖掘(思政)案例

随着屠呦呦先生获得诺贝尔奖，青蒿素的发现作为中国医药领域世界级的成就^[12]，成为药物化学、有机化学、中药学、天然药物化学等课程中文化自信课程思政教育的典型案例。其实，“中国智慧”下孕育的创新药物不只有青蒿素，砒霜、芹菜、五味子、黄连等都被中国科学家研发成多个创新药，治疗了一些重大疾病，为人类医学进步提供了“中国方案”。例如，中国古代就有“以毒攻毒”的哲学思想：《黄帝内经》记载了用砷剂治疗周期性发热的病例，葛洪在《抱朴子》中有用雄黄(四硫化四砷)作为消毒剂的记载，孙思邈用含有砷剂的复方治疗疟疾，《本草纲目》中提到用砷剂治疗多种疾病的方法^[13]。中国在20世纪70年代开始了砷剂治疗白血病的探索，代表科学家有韩太云、张亭栋、王振义等^[14]。陈竺、陈赛娟等基于中西方智慧的融汇整合，用先进的科学技术在分子层面深入研究，在治疗急性早幼粒细胞白血病(APL)领域获得突破。近年来，中国年轻科学家揭示了砒霜与“最强”抑癌基因p53之间的关系^[15]。笔者曾在元素化学课程中，以王振义、张亭栋获未来科学大奖生命科学奖为引子(图1)，通过简述研发“以毒攻毒”砒霜治疗白血病的背后故事，提高学生

的学习兴趣。总之,通过挖掘高水平科技自立自强的中国创新故事,有助于增强学生的文化自信,培养中国式现代化的新一代建设者。

砒霜:从毒药到药物



**砒霜治白血病,王振义、张亭栋
获未来科学大奖生命科学奖**

2020年9月6日上,2020未来科学大奖在北京揭晓。哈尔滨医科大学第一附属医院张亭栋、上海交通大学瑞金医院王振义摘得三项大奖之一的“生命科学奖”。

问题:砒霜的抗癌机理?是否已完全阐明?

18:03 https://m.sohu.com/a/416715193_100191017 35

图1 研发“以毒攻毒”砒霜治疗白血病的背后故事(元素化学案例)

3 通过阅读文献从学术前沿中挖掘案例

分子内形成的氢键对于分子的结构和性质影响巨大,例如透膜性、水溶性和脂溶性等。研究分子内氢键对于合理设计分子是非常重要的,近年来相关的综述和研究论文较多^[16,17],为无机化学中的氢键提供了丰富的素材。

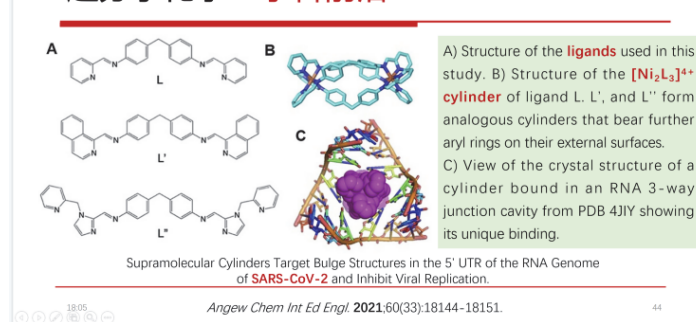
超分子化学是基于分子间的非共价键相互作用而形成的分子聚集体的化学,主要研究与分子间的非共价键作用(如氢键、配位键和亲水/疏水相互作用等)密切相关的分子组装体。基于超分子原理的“分子钳技术”(Molecular Clamp)成为药物发现的新颖途径^[18],是无机化学课程中分子间作用力的新素材。该部分内容相关的学术前沿还有液液相分离(液液相分离原理:细胞中各种蛋白质和核酸成分通过疏水作用、静电作用形成多价且低亲和力的相互作用)^[19]。

药物与配体的结合热力学与结合动力学、等温滴定量热技术(Isothermal Titration Calorimetry, ITC)与细胞热转变分析(Cellular Thermal Shift Assay, CETSA)等技术、药物设计中的焓-熵补偿作用/蛋白口袋水分子对药物设计的影响、多价结合策略、诱导接近(Induced proximity)等极大地丰富了无机化学中化学热力学与化学反应动力学部分的案例素材。

此外,笔者在文献阅读中,梳理出以下可用作教学案例的素材(括号内为对应的课程及内容版块):电催化有机化学反应(无机化学:氧化还原反应)、石墨烯(无机化学:分子结构)、中药活性成分开发——中药药物配合物(无机化学:配合物)^[20]、仿生金属催化(无机化学:配合物)、抗新冠药物活性筛选方法(TR-FRET Assay)(无机化学:配合物)^[21]、焦硫酸钠纳米颗粒用于肿瘤治疗(无机化学:元素化学)^[22]、镓通过协同机制触发铁死亡(无机化学:元素化学)^[23]、轴手性(有机化学:立体化学)、点击化学(有机化学:环加成反应)、适配体(有机化学:核酸)、药物发现中的晚期修饰(有机化学:金属催化的偶联反应)、利用细菌氧化还原电势促进自由基聚合反应(无机化学:氧化还原反应)^[24]。笔者已将部分源自学术论文的素材用于无机化学和元素化学等课程的课堂教学(图2)。

除了学术论文,在网络资讯发达的自媒体时代,很多学术前沿进展通过微信公众号呈现出来,便于读者利用碎片时间进行快餐式阅读。例如“世界原创,源于中药的创新药物”^[25]、“对西湖大学未来产业研究中心发布的《未来产业发展趋势研究2023:未来生物医药》的解读”^[26]、“铜生物学解析及癌症治疗”^[27]、“医学动态:新突破!超分子水凝胶,有效治疗角膜感染”^[28]、“铜制剂杀菌”^[29]、“三氧化二砷功能治愈艾滋病”^[30]等。这些文章,是作者对原始文献的加工和解读,尽管是一家之言,不乏真知灼见,例如《未来产业发展趋势研究2023:未来生物医药》采用人工智能

超分子化学：学科前沿



具有抗病毒活性的金属化合物及配合物

Compound	Virus	Assay
Polyoxometalates, Cs ₃ K ₂ Na [SiW ₆ Nb ₂ O ₂₀], Cs ₃ K ₂ Na [SiW ₆ Nb ₂ O ₂₀] (POM93)	Influenza A, Influenza B, HSV-1, HSV-2, HIV-1, HBV	MTT
Co ^{III} Schiff base complexes, CTC-96 [Co ^{II} , Dmsv(r TM)]	HSV-1, HSV-2	Plaque-forming units
Zn ^{II} -pyrithione (PT)	SARS-CoV-1	MTT
Zn ^{II} -cyclams	HIV-1, HIV-2	MTT
R ^{II} (phen)(acyclovir)peniclovir, P1157	HSV, CMV	MTT
Auranofin (Au1)	SARS-CoV-2	qRT-PCR, plaque-forming units
Ranitidine Bi ^{III} citrate (based on Bi1)	SARS-CoV-1	qRT-PCR

1738

Chem. Sci. 2020, 11, 12888–12917

25



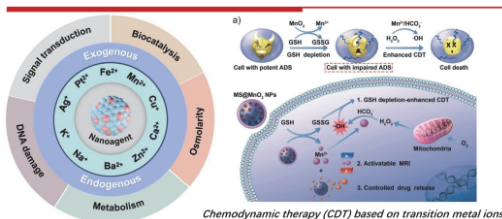
多核铂配合物的抗病毒活性

◆ 多核铂配合物 (polynuclear platinum complex, PPC) TriplatinNC 的作用机制是通过与细胞表面糖胺聚糖形成加合物, 进而阻断病毒的进入。



Bailey B, Gorle AK, Durr L, Malde AK, Farrell NP, Berners-Price SJ, von Itzstein M. Platinum complexes act as shielding agents against virus infection. *Chem Commun (Camb)*. 2021;57(38):4666–4669.

无机元素与疾病治疗 Metal ion-based therapeutic strategy



1739

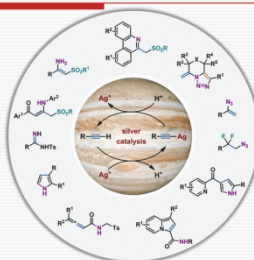
Chem. Sci. 2021, DOI: 10.1039/D1SC03516A

35

学科前沿 Silver-Catalyzed Activation of Terminal Alkynes for Synthesizing Nitrogen-Containing Molecules

Paramasivam Sivaguru, Shanshan Cao, Kaki Raveendra Babu and Xihe Bi*

银催化的有机合成反应



20:36

Acc Chem Res. 2020;53(3):662–675.

图2 源自学术论文的无机化学及元素化学课程教学案例(示例)

文本分析技术对全球生物医药技术进行数据挖掘和分析, 提出我国未来生物医药产业发展的重点方向政策建议。这些公众号资源经过甄选后, 可作为专业文献案例库的补充。笔者在微信公众号看到“Science: 挑战化学基本概念! 化学键究竟是什么?”一文^[31], 通过“顺藤摸瓜”查到原始文献, 经过整理后用于无机化学中分子结构部分的教学案例, 不但让学生从学术前沿的视角审视基础知识点, 而且有助于培养学生敢于挑战权威的科学精神。

4 从国家重大课题的指南中挖掘案例

国家自然科学基金委员会和科技部等发布的发展规划或重大课题指南反映出国家对科研工作的战略规划, 代表相关领域的学术前沿。指南不仅是科研工作者的行动指南, 也是研教融合案例的优质素材。例如, 2022年国家自然科学基金委员会发布《国家自然科学基金“十四五”发展规划》, 公布了115个优先发展领域^[32]。其中, 多次提及生物医药、生命健康等领域。例如, 免疫与神经化学学生物学部分提到“小分子(包括金属离子)介导的免疫调控与干预”“原创性的基于小分子的免疫诊疗技术”等, 反映出医学前沿与基础化学之间的紧密联系。与该规划相呼应的是, 自然科学基金委化

学部重大项目指南中列出了“金属介导的免疫调控与靶向干预”^[33]。自然科学基金委化学部重大项目指南中的“人工金属酶的构筑与催化”代表生物无机化学的前沿领域；2023年，国家自然科学基金发布的“RNA病毒性传染病广谱治疗药物创新基础研究”重大项目指南以及专项项目指南(抗新型冠状病毒药物关键科学问题研究)^[34,35]，为药学相关课程研教融合案例库的构建提供了独特的素材。

5 从国内外学术会议中挖掘前沿案例

化学及药学相关学科每年或者隔年举办大型的学术年会，一些学术报告的成果尚未见诸期刊，反映出相关领域的最新进展。2022年8月，笔者参加了中国化学会第九届全国配位化学会议。本次大会以“新时代的配位化学：机遇与挑战”为主题，全面展示了近年来配位化学及相关研究领域涌现出的新方向和新进展^[36]。例如毛宗万教授、曲晓刚教授、梁宏教授等分别所做的学术报告“配合物的抗肿瘤效应及分子机制”“配位化学与阿尔兹海默症：手性靶向与修饰”“氧化(异)阿朴菲生物碱抗肿瘤金属化合物研究进展”；巢晖、刘扬中等其他知名学者通过会议报告或论文展示了在肿瘤微环境响应型、光活化型金属配合物(钐、铈、金、铂等)的研究进展，均代表本领域中国科学家的高水平成果，为构建无机化学(配位化合物)教学案例提供了丰富素材。

6 从诺贝尔奖等世界级成果中挖掘案例

把诺贝尔奖案例融入教学过程，有助于培养学生的科学素养与价值观，提升课程教学效果，实现理解专业理论知识和培养人文素质的多层次教学目标^[37-39]。刘大鹏等在文中以表格的形式总结了与配位化合物有关的诺贝尔化学奖^[40]，不仅对配位化学的教学有重要参考，而且对其他课程的教学也具有启发。例如，笔者在本科生元素化学及研究生高等有机化学课程中均将钯催化的偶联反应作为教学案例(图3)，并结合自身药物设计与合成的实例(发现全新骨架的痘病毒与腺病毒抑制剂)，将2022年诺贝尔化学奖成果“点击化学”应用到研究生高等有机化学课程中(图4)。

2010年诺贝尔化学奖：
金属钯催化的交叉偶联反应 Heck Negishi Suzuki coupling



理查德·赫克 根岸 英一 铃木 章

This century: Nobel Prize in organometallic chemistry

- **2010:**
- Richard F. Heck, Ei-ichi Negishi and Akira Suzuki for palladium-catalyzed cross couplings in organic synthesis

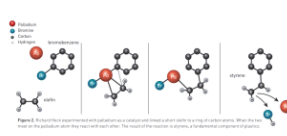
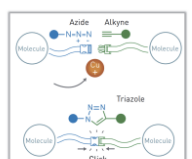


图3 笔者在本科生元素化学(左)及研究生高等有机化学(右)课程中均将钯催化的偶联反应作为教学案例

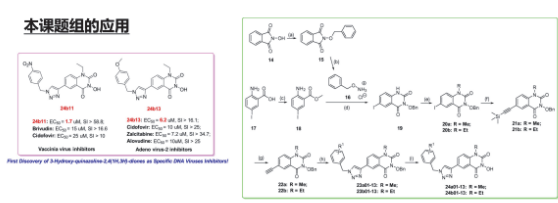
This century: Nobel Prize in organometallic chemistry

- **2022:**
- Carolyn R. Bertozzi, Morten Meldal and K. Barry Sharpless for the development of click chemistry and bioorthogonal chemistry



Sonogashira Coupling and Click Chemistry

本课题组的应用



• Kang D, Zhang H, Zhou Z, Huang B, Naesens L, Zhan P, Liu X. First discovery of novel 3-hydroxy-quinazoline-2,4(1H,3H)-diones as specific anti-vaccinia and adenovirus agents via 'privileged scaffold' refining approach. *Bioorg Med Chem Lett.* 2016;26(21):5182-5186.

图4 研究生高等有机化学课程中的点击化学案例

7 从成果突出、特色显著的课题组中挖掘案例

孟子说：“有为者譬若掘井。掘井九仞而不及泉，犹为弃井也。”对于做科研、做学问也是如此。多数学术大家往往是聚焦某一领域，持续深耕、精益求精、终成建树。从成果突出、特色显著的课题组中挖掘案例，不仅有助于理顺某一领域的叙述脉络，而且可以通过榜样的作用，潜移默化指引青年学子合理规划自己的学术之路。笔者作为本科生无机化学的教师，从国内多个与生物无机相关的课题组中挖掘出一系列金属元素-生物医药相关的案例，并将其应用于课程教学，典型的案例包括：深耕铂类配合物的郭子建院士团队^[41,42]、在基于金属钆化合物的生物影像探针与抗癌药物方面做出系统成果的巢晖团队^[43]、聚焦铁死亡的王福倬团队^[44]、以硒纳米医学与疾病精准诊疗为特色的陈填烽团队^[45]、专研锰免疫疗法的蒋争凡团队^[46]等。笔者在元素化学课程中锰和铁元素的教学中也采用了相关案例，取得了较好的效果(图5)。

8 从自身科研实践和成果中挖掘研教融合型案例

大学教师的教学与科研联系紧密，课堂教学中积极介绍一些与自身科研相关或亲自参与的研究实例，不但能使教学内容与时俱进，还能增强学生的亲近感，营造参与性研究的氛围，提高学习效果。笔者多年从事抗病毒药物的研发工作，在无机化学配位化合物部分，引入了金属配合物及以金属酶为靶标的抗病毒药物研究实例(图6)^[47]；在讲授元素化学铜族元素部分，将本团队运用铜离子催化的点击化学反应发现抗病毒(HIV、痘病毒、腺病毒等)药物先导化合物的例子搬上课堂(图7)^[48]。在研究生高等有机化学课程中，针对研究生培养存在的化学反应机理薄弱、理论联系实际能力不足的问题^[49]，笔者将课题组在构建目标分子中成功运用的现代有机合成反应引入课堂，通过问题导向的启发式教学开展化学反应机理的学习(图8)。研教融合型案例的构建是动态的成长过程，并非一劳永逸。一方面不断深化和拓展对专业领域的认知^[50-54]，另一方面推进对教学方法与技术的理解与实践^[55-63]，两方面的交汇融通将会产生更多优质的教学案例。



图5 笔者在元素化学课程中选用的与金属元素-生物医药相关的部分案例

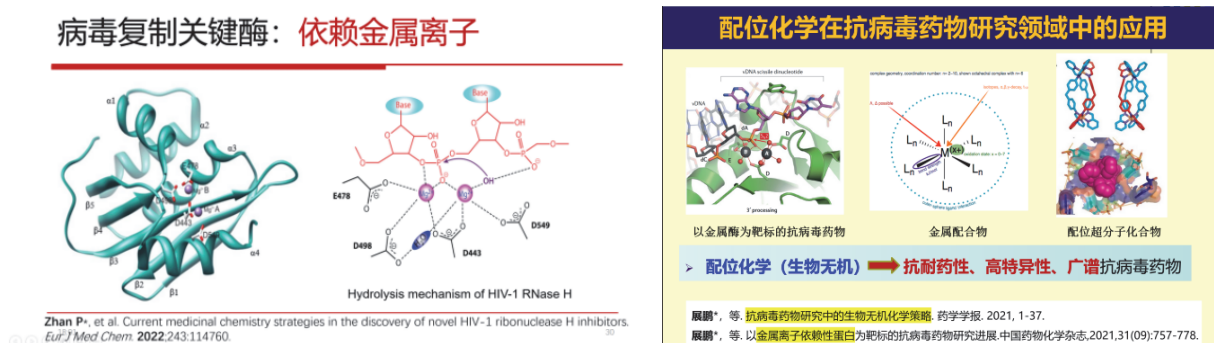


图6 金属配合物及以金属酶为靶标的抗病毒药物研究实例(无机化学配位化合物)

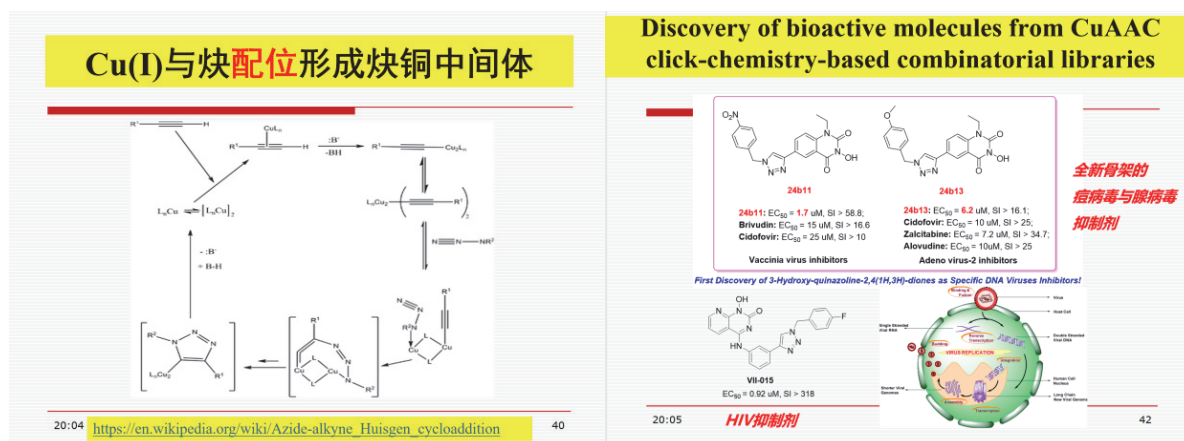


图7 基于铜离子催化的点击化学反应发现抗病毒药物先导化合物(铜族元素)

药物化学研究生培养存在的问题

- 科学问题不知
- 药化策略不够
- 合成工具不足
- 活性评价不会

➔

- 勤思考善总结
- 恶补药物设计
- 夯实有机合成
- 学科交叉弥补

展鹏,等. 药物化学专业研究生学位论文常见问题及其解决方法[J]. 药教教育,2022,38(04):49-54. 146

Chan–Lam Coupling

Gao S, Sylvester K, Song L, Claff T, Jing L, Woodson M, Weiße RH, Cheng Y, Schäkel L, Petry M, Gütschow M, Schiedel AC, Sträter N, Kang D, Xu S, Toth K, Tavis J, Tollefson AE, Müller CE, Liu X, Zhan P. Discovery and Crystallographic Studies of Trisubstituted Piperazine Derivatives as Non-Covalent SARS-CoV-2 Main Protease Inhibitors with High Target Specificity and Low Toxicity. J Med Chem. 2022;65(19):13343-13364. 147

Miyaura–Suzuki coupling

J Med Chem. 2021;64(24):17992-18009. 148

Buchwald–Hartwig amination

J Med Chem. 2020;63(19):10829-10854. 150

图8 笔者课题组成功运用的现代有机合成反应被作为课堂教学实例

9 总结与展望

本文从药物研发的前沿成功实例、中国古籍与现代科学融合型例子、学术前沿文献、国家重大课题的指南、学术会议、诺贝尔奖世界级成果、成果突出且特色显著的课题组，以及自身科研实践和成果等方面总结了挖掘和梳理教学案例库的常见途径。部分案例已经在课堂教学及笔者参编或主编的教材中被采用。“且夫水之积也不厚，则其负大舟也无力”，优质案例的构建和成功运用要求教师具有孜孜以求的精神和深厚扎实的学养。笔者认为，以下几方面是需要着重努力的方向：

(1) 把握时代脉搏，继续拓展案例库的来源渠道，要有“见所未见”的火眼金睛，保持对学术前沿的敏感。除了优质公众号资源，新形态教材也是优质案例的重要来源，例如《药物化学及药物研发案例》(清华大学出版社)等；

(2) 处理好素材前沿性与权威性的关系，兼顾案例的前沿性、高阶性与挑战度；

(3) 药物研发链条涵盖靶标确证、药物设计、活性筛选、成药性评价、临床试验等一系列环节，

与无机化学、有机化学、分析化学、物理化学、药物化学、生物化学等基础课程或药学专业课程存在紧密的联系,药物开发前沿进展中也蕴含着丰富的化学原理^[64]。后续研究中尝试以新药研发链条为逻辑主线,构建以提高新药研发能力为导向的案例库。

(4) 在案例使用中,可以采用九段教学法、5E教学法、五星教学原理、支架式和抛锚式教学策略等新方法,强调批判性理解、知识建构、知识迁移。引导学生学会切问近思、切己体察的治学方法;形成对知识“得一端而多连之,见一空而博贯之”的融会贯通能力。希望以上努力能为新时代药学拔尖创新性人才的培养起到积极的作用!

参 考 文 献

- [1] 姚文兵,王欣然,樊陈琳,宋建飞,毕惠娣,杨波,孙建平,宋恭华,李俊,崔一民,等. 中国药学杂志, **2023**, 58 (10), 849.
- [2] 邹小琴, 宓郑成, 杨玉芳. 教育教学论坛, **2022**, No. 51, 93.
- [3] 凌美秀, 刘娟萍. 高校图书馆工作, **2018**, 38 (6), 69.
- [4] 林建平, 潘绵臻. 人才培养与教学改革-浙江工商大学教学改革论文集. 杭州: 浙江工商大学出版社, 2014.
- [5] 卢闻, 曾爱国, 张杰. 药学教育, **2022**, 38 (1), 44.
- [6] 何述钟, 钟杭, 刘冰倩, 王贞超. 广东化工, **2020**, 47 (20), 241.
- [7] 谢琼, 李炜, 叶德泳, 付伟. 药学教育, **2014**, 30 (4), 40.
- [8] 戚文涛, 鞠翰, 侯凌欣, 李敬, 展鹏, 刘新泳. 大学化学, **2020**, 35 (12), 21.
- [9] Bowles, V. M.; Hanegraaf, S.; Ahveninen, T.; Sidgiddi, S.; Allenby, K.; Alsop, H. *Glob. Pediatr. Health*. **2019**, 6, 2333794X19831295.
- [10] Flick, A. C.; Leverett, C. A.; Ding, H. X.; McInturff, E. L.; Fink, S. J.; Mahapatra, S.; Carney, D. W.; Lindsey, E. A.; DeForest, J. C.; France, S. P.; *et al. J. Med. Chem.* **2022**, 65 (14), 9607.
- [11] Schilsky, M. L.; Czlonkowska, A.; Zuin, M.; Cassiman, D.; Twardowschy, C.; Poujois, A.; Gondim, F. A. A.; Denk, G.; Cury, R. G.; Ott, P.; *et al. Lancet Gastroenterol. Hepatol.* **2022**, 7 (12), 1092.
- [12] 黎润红, 饶毅, 张大庆. 自然辩证法通讯, **2013**, 35 (1), 107.
- [13] 霍斌. 人文杂志, **2022**, No. 2, 96.
- [14] 饶毅, 黎润红, 张大庆. 中国科学: 生命科学, **2013**, 43 (8), 700.
- [15] Chen, S.; Wu, J. L.; Liang, Y.; Tang, Y. G.; Song, H. X.; Wu, L. L.; Xing, Y. F.; Yan, N.; Li, Y. T.; Wang, Z. Y.; *et al. Cancer Cell* **2021**, 39 (2), 225.
- [16] Kuhn, B.; Mohr, P.; Stahl, M. *J. Med. Chem.* **2010**, 53 (6), 2601.
- [17] Caron, G.; Kihlberg, J.; Ermondi, G. *Med. Res. Rev.* **2019**, 39 (5), 1707.
- [18] Weiss, S. T.; McIntyre, N. R.; McLaughlin, M. L.; Merkler, D. J. *Drug Discov. Today* **2006**, 11 (17-18), 819.
- [19] Mitrea, D. M.; Mittasch, M.; Gomes, B. F.; Klein, I. A.; Murcko, M. A. *Nat. Rev. Drug Discov.* **2022**, 21 (11), 841.
- [20] Ma, X. Q.; Peng, Y.; Cui, J.; Liu, T. X. *Tradit. Med. Res.* **2023**, 8 (4), 19.
- [21] Gorshkov, K.; Morales Vazquez, D.; Chiem, K.; Ye, C.; Nguyen Tran, B.; CarlosdelaTorre, J.; Moran, T.; Chen, C. Z.; Martinez-Sobrido, L.; Zheng, W. *ACS Pharmacol. Transl. Sci.* **2022**, 5 (1), 8.
- [22] Liu, Y.; Zhen, W.; Wang, Y.; Song, S.; Zhang, H. *J. Am. Chem. Soc.* **2020**, 142 (52), 21751.
- [23] Peng, X. X.; Zhang, H.; Zhang, R.; Li, Z. H.; Yang, Z. S.; Zhang, J.; Gao, S.; Zhang, J. L. *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.* **2023**, 62 (36), e202307838.
- [24] Nothling, M. D.; Cao, H.; McKenzie, T. G.; Hocking, D. M.; Strugnell, R. A.; Qiao, G. G. *J. Am. Chem. Soc.* **2021**, 143 (1), 286.
- [25] 【科研故事】世界原创, 源于中药的创新药物. [2023-10-12]. <https://mp.weixin.qq.com/s/n-UCBXMkgpjZcbrNwI0QQ>
- [26] 我国未来生物医药产业值得关注的十大领域. [2023-10-12]. <https://mp.weixin.qq.com/s/rfdxY9dwSg5N2eIng0TfA>
- [27] Coordin. Chem. Rev.: 铜生物学解析及癌症治疗-激活Cuproptosis或抑制Cuproplasia. [2023-10-12]. <https://mp.weixin.qq.com/s/74Nk2QMB2Z8AJczGoVSagA>
- [28] 【医学动态】新突破! 超分子水凝胶, 有效治疗「角膜感染」. [2023-10-12]. <https://mp.weixin.qq.com/s/YzAelDgsECmY0ecF4RRKkQ>

- [29] 铜制剂杀菌开启单原子时代——从谈“铜”色变到一“铜”天下！[2023-10-12]. <https://mp.weixin.qq.com/s/CSRdYXCQMwir5umwqelX9g>
- [30] 广州健康院李平超团队与合作者在三氧化二砷功能治愈艾滋病领域取得进展. [2023-10-12].
https://mp.weixin.qq.com/s/g5TKWbA5LZz_pdX3DZOetQ
- [31] Science: 挑战化学基本概念！化学键究竟是什么？[2023-10-12]. https://mp.weixin.qq.com/s/AK4tQA1NQ23CJPTjh_CFJg
- [32] 国家自然科学基金委发布“十四五”发展规划，多次提及生物医药、生命健康等领域！[2023-10-12].
<https://mp.weixin.qq.com/s/7px25se-0lssMYNp0bcqWA>
- [33] 国家自然科学基金委员会关于发布国家自然科学基金“十四五”第二批重大项目指南及申请注意事项的通告. [2023-10-12].
<https://www.nsf.gov.cn/publish/portal0/tab434/info87115.htm>
- [34] 关于发布“RNA病毒性传染病广谱治疗药物创新基础研究”重大项目指南的通告. [2023-10-12].
<https://www.nsf.gov.cn/publish/portal0/tab442/info89426.htm>
- [35] 关于发布医学科学部2023年度专项项目指南的通告. [2023-10-12]. <https://www.nsf.gov.cn/publish/portal0/tab442/info89421.htm>
- [36] 由中国化学会无机化学学科委员会和郑州大学主办，郑州大学化学学院承办的中国化学会第九届全国配位化学会议在郑州举行. [2023-10-12]. <https://mp.weixin.qq.com/s/sUxiGxo3mnyWR1Swgxbhg>
- [37] 李佳, 唐红, 张琳, 赵文宇, 董佩佩, 吕侠, 马俊楠, 孙铮, 尚东. 中国细胞生物学学报, **2023**, 45 (7), 1075.
- [38] 刘洪艳. 生物学通报, **2021**, 56 (8), 38.
- [39] 石嵘, 马文丽, 郑文岭, 周珏宇, 危敏. 基础医学教育, **2014**, 16 (8), 651.
- [40] 刘大鹏, 李汝奕. 化学教育, **2015**, 36 (14), 9.
- [41] Wang, X.; Wang, X.; Guo, Z. *Acc. Chem. Res.* **2015**, 48 (9), 2622.
- [42] Jin, S.; Guo, Y.; Guo, Z.; Wang, X. *Pharmaceuticals (Basel)* **2021**, 14 (2), 133.
- [43] Zeng, L.; Gupta, P.; Chen, Y.; Wang, E.; Ji, L.; Chao, H.; Chen, Z. *S. Chem. Soc. Rev.* **2017**, 46 (19), 5771.
- [44] 沈馨, 余盈盈, 陈峻逸, 沈洁, 张金明, 王福佛, 闵军霞. 中国科学: 生命科学, **2022**, 52 (12), 1815.
- [45] Chen, Z.; Lai, H.; Hou, L.; Chen, T. *Chem. Commun. (Camb.)* **2019**, 56 (2), 179.
- [46] Wang, C.; Guan, Y.; Lv, M.; Zhang, R.; Guo, Z.; Wei, X.; Du, X.; Yang, J.; Li, T.; Wan, Y.; *et al. Immunity* **2018**, 48 (4), 675.
- [47] 展鹏, 刘新泳. 大学化学, **2022**, 37 (11), 2202034.
- [48] 展鹏, 刘新泳. 山东化工, **2021**, 50 (7), 176.
- [49] 展鹏, 徐淑静, 刘新泳. 药学教育, **2022**, 38 (4), 49.
- [50] 徐淑静, 丁当, 刘新泳, 展鹏. 药学报, **2022**, 57 (10), 2889.
- [51] 徐淑静, 丁当, 刘新泳, 展鹏. 药学报, **2022**, 57 (5), 1289.
- [52] 徐淑静, 张续杰, 丁当, 刘新泳, 展鹏. 药学报, **2022**, 57 (3), 576.
- [53] 徐淑静, 丁当, 张续杰, 刘新泳, 展鹏. 药学报, **2022**, 57 (4), 903.
- [54] 周洋, 徐淑静, 丁当, 王硕, 刘新泳, 展鹏. 药学报, **2023**, 58 (8), 2203.
- [55] 展鹏, 刘新泳. 药学教育, **2022**, 38 (3), 30.
- [56] 高源, 刘新泳, 展鹏. 大学化学, **2022**, 37 (11), 2201045.
- [57] 展鹏, 刘新泳. 大学化学, **2021**, 36 (1), 2008064.
- [58] 展鹏, 刘新泳. 大学化学, **2021**, 36 (2), 2002067.
- [59] 李敬, 姜向毅, 徐淑静, 刘新泳, 展鹏. 山东化工, **2020**, 49 (9), 159.
- [60] 展鹏, 刘新泳. 大学化学, **2020**, 35 (2), 14.
- [61] 展鹏, 刘新泳. 大学化学, **2019**, 34 (11), 68.
- [62] 展鹏, 蒋小飞, 王艺铭, 兰共德, 刘新泳. 大学化学, **2019**, 34 (11), 61.
- [63] 展鹏, 康东伟, 屈直言, 喻路兵, 刘新泳. 药学教育, **2018**, 34 (6), 43.
- [64] 展鹏, 刘新泳. 大学化学, **2023**, 38 (12) 10.