

“三因一选”模式 ——新时代大学化学实验教学改革探索

贾建华*, 李莲云, 李淑君, 石建新*, 朱芳

中山大学化学学院, 广州 510275

摘要: 人才发展是强国利器。对综合型人才培养而言, 本科化学实验教学意义重大。本文针对大学化学实验课程提出“三因一选”的教学模式, 即因“材”施教、因地制宜、因势利导和自选课题实验。“三因一选”模式旨在将本科各专业的特色与具体实验内容结合起来, 增强学生的主观能动性, 强化学生的创造性思维和实践创新能力。

关键词: 大学化学实验; 教改探索; 人才培养

中图分类号: G64; O6

“3 Factors & 1 Choice” Mode: Exploration for Teaching Reform of College Chemistry Experiment in the New Era

Jian-Hua Jia *, Lianyun Li, Shujun Li, Jianxin Shi *, Fang Zhu

School of Chemistry, Sun Yat-Sen University, Guangzhou 510275, P. R. China.

Abstract: It is a powerful tool of talent development to reinforce the nation's power. For educating comprehensive talents, teaching of chemistry laboratory for undergraduate is of great significance. In the light of college chemistry experiment, we propose a teaching mode named “3 factors & 1 choice”, that is teaching in accordance with majors, teaching in accordance with local condition, teaching in accordance with general trends, and optional experiments. It aims to combine the characteristics of each major with specific experiments, to enhance students' conscious activity, and to strengthen students' creative thought and practical innovation ability.

Key Words: College chemistry experiment; Exploration for teaching reform; Talent development

2010年6月, 中共中央、国务院印发了《国家中长期人才发展规划纲要(2010–2020年)》^[1], 这是我国第一个中长期人才发展规划, 是贯彻落实科学发展观、更好实施人才强国战略的重大举措。同年7月, 国务院又发布了《国家中长期教育改革和发展规划纲要(2010–2020年)》, 提出优先发展教育, 建设人力资源强国的战略部署^[2]。可见, 人才发展是强国利器。对综合型人才培养而言, 本科教学是重中之重, 包括理论教学和实验教学。实验教学内容和方式对学生的创新思维、创造意识以及创作行为的形成至关重要。大学化学实验是大学阶段的入门基础化学实验课程, 是现代大学生应该掌握的自然科学基础知识的重要组成部分^[3]。大学化学实验课程的教学目的在于通过对实验课程的学习, 使学生获得大量化学事实性知识, 进一步理解和巩固大学化学基本理论, 能够理论联系实际, 独立思考、分析和解决一些常见的化学实验问题。此外, 大学化学实验课程还能训练学生化学

收稿: 2019-11-18; 录用: 2019-12-23; 网络发表: 2020-02-06

*通讯作者, Email: jiajh3@mail.sysu.edu.cn; cessjx@mail.sysu.edu.cn

基金资助: 中山大学本科教学质量工程项目“化学学院本科教育教学综合改革”(2019年度); “教材建设项目(《无机化学实验》数字化教材)”(2018年度); 广东省自然科学基金(2017A030313059); 广州市科技计划项目(201806010192)

实验的基本操作技能,培养学生严谨细致、实事求是的综合实验素质。

我院所开设的大学化学实验课程前身为普通化学实验或与无机、有机、分析等化学专业对应的基础化学实验课程,通常为 36 学时 1 学分制,或 54 学时 1.5 学分制。随着我校学院种类和数量的扩增,相关的学科内容 and 专业方向逐渐细化,非化学类专业的基础化学实验课程需要面向更广的专业、更多的学生。面对受众广、人数多的情况,以往教学模式的弊端逐渐显露出来,比如实验统一安排,刻板不灵活;教学方式单一,单调不丰富;实验内容固定,陈旧未更新等。因此,大学化学教研室结合各专业实际情况,单独设立大学化学实验课程,分为 36 学时 1 学分制或 72 学时 2 学分制,主要授课对象为医学、药学、农学、生物、环境、海洋、地质等非化学类专业的一年级学生,每年近两千人。近几年,大学化学教研室不断改进和创新实验内容,实施多种教学形式,坚持贯彻培养大学生创新、创造、创作能力的教学理念,探索适合新时代背景下大学化学实验教学的最佳模式。

根据我校本科生培养方案,本文提出“三因一选”的实验教学模式。“三因”即因“材”施教、因地制宜、因势利导;“一选”为自选课题实验。“三因一选”模式旨在从实验教学出发,增强学生实验的主观能动性,切实将各专业的特色落实到具体实验内容上,进一步强化学生的创造性思维和实践创新能力。

1 因“材”施教

因材施教既是一项重要的教学原则,也是一种行之有效的教学方法,指教师从学生的实际情况出发,结合个体的差异性,有的放矢地进行差别教学,使每个学生扬长避短获得最佳发展^[4]。因材施教从孔子时代就有考究,在《论语·先进篇》中有如下描述。有一次,孔子讲完课,子路匆匆走进来大声向老师讨教:“先生,如果我听到一种正确的主张,可以立刻去做么?”孔子慢条斯理地说:“总要问一下父亲和兄长吧,怎么能听到就去做呢?”子路刚出去,另一个学生冉有悄悄走到孔子面前,恭敬地问:“先生,我要是听到正确的主张应该立刻去做么?”孔子马上回答:“对,应该立刻实行。”冉有走后,公西华奇怪地问:“先生,一样的问题您的回答怎么相反呢?”孔子笑了笑说:“冉有性格谦逊,办事犹豫不决,所以我鼓励他临事果断。但子路逞强好胜,办事不周全,所以我就劝他遇事多听取别人意见,三思而行”^[5]。

对大学化学实验这门课程而言,因“材”施教的“材”所指范围从学生上升到学科或专业范畴。因大学化学实验课程涉及多个院系十几个专业的学生,在教学中根据不同专业的学科构架、发展需求及未来方向等特点选择相对合适或关联性强的实验内容,将基础实验与专业知识联系起来,有针对性地教学,最大化地发挥学生的主动性,从而促进学生全面发展。在课程教学过程中,希望学生能做到举一反三,达到上手快、记忆牢、反馈佳、印象深的教学效果。

以海洋科学专业为例,教学方向主要分为物理海洋、海洋生物、海洋地质和海洋化学。其中海洋化学方向涉及到海洋环境污染与控制、海洋环境分析化学、海洋环境质量检测与评价、水体有机污染物环境归趋和生物效应等。根据海洋科学的“水”性特点,推荐开设“海水中氯化钠的提取与纯化”和“水中化学耗氧量(COD)的测定”等与其专业相关性较强的实验^[6]。通过前一个实验,学生掌握基本的无机实验操作和沉淀溶解平衡原理,了解实验室常用的多步除杂法和日本 1970 年代制盐的工业除杂法,并比较二者的优缺点;通过后一个实验,学生熟悉分析实验的滴定操作,进一步理解氧化还原反应在分析实验中的应用原理。

对环境科学专业而言,教学方向涵盖环境地理学、环境化学、环境生态学、环境海洋学、环境管理与规划等内容,还涉及到水污染控制工程、固体废物处理与资源化、清洁生产与循环经济等领域的相关知识。结合该专业的学科内容,可开展一些环境友好化合物的合成实验,比如“环境友好产品——CaO₂的制备及含量测定”^[6]。作为一种对生态环境友好的氧化剂,CaO₂具有良好的杀菌、

消毒、漂白、增氧作用,广泛地应用于环境保护、医疗、食品、水产养殖等领域。还可开设“钼酸铋黄色颜料的制备”实验^[6],钼酸铋具有无毒、耐候性好、色泽明亮等优良特性,在合成过程中学生可以学习到准确控制反应条件的方法,了解液相沉淀法合成粉末材料的原理。

对生命科学专业来说,教学方向涉及生物技术及应用、生态学、生物科学以及生物工程等领域,相对而言学生要了解和掌握的知识面更广,涵盖医药、食品、微生物、分子生物、植物、动物、细胞、基因、蛋白质等方面。所开设实验内容应与具体专业方向高度匹配,比如通过“乙醇”制备实验了解微生物发酵法在生产生活中的应用^[6],正好结合生物工程方向的酶工程和发酵工艺,重温人类早期的发酵制造技艺。生物科学方向的学生可以借“植物色素的提取和柱层析”实验了解植物体内色素的化学成分^[6],进一步掌握有机色素的提取和分离方法。该实验方法还能应用于菠菜、辣椒等蔬菜色素的提取和分离,实验前期可以准备多种植物材料,实验过程安排学生分组进行,最后比对各种植物的分离结果。还有一类性质鉴定实验可面向整个生命科学专业开设,比如“有机化合物的性质(胺、糖)”^[6],通过一系列胺基和糖类化合物的性质检测实验,增强学生对生命体内分子及其反应性的认识,有助于加深学生对揭示生命现象、探讨生命本质以及发现内在规律等知识的认识。

2 因地制宜

因地制宜指根据各地具体情况,制定适宜的办法。最早出自《吴越春秋·阖闾内传》^[7]，“夫筑城郭，立仓库，因地制宜，岂有天气之数以及威邻国者乎？”我校已形成“三校区五校园”的办学格局，五个校园坐落在广州、珠海、深圳三个地区，可充分利用各校区、校园的地理环境优势和地方企业发展方向，选用适宜的大学化学实验内容。

以“海水中氯化钠的提取与纯化”为例，实验第一步取 400 mL 海水，直接加热蒸发浓缩至溶液体积剩余约 50 mL。因为地域受限，大部分高校退而求其次选择粗盐溶液代替海水，即取 20 g 粗盐溶于 70 mL 自来水。我校海洋科学学院位于珠海校区，可谓近水楼台先得月。利用其“地利”优势，准备室可以提供充足的海水供实验教学使用，学生能较完整地体验从海水提盐的模拟过程。另一个实验“水中化学耗氧量(COD)的测定”也同样适用。在非近海区域的高校通常采用酸性高锰酸钾法测定一般天然水体的化学耗氧量，而珠海校区的近海优势能满足为数不多的碱性高锰酸钾法测定海水中化学耗氧量的条件。条件允许的话，甚至可以同时开展两种方法，供学生体验、对比酸/碱高锰酸钾法的不同。

与珠海校区不同，广州校区的东校园坐落在大学城，四周环水，以低丘陵冲击平原为主。大学城毗邻国际生物岛，岛内主要发展方向为生物新药创制、生物能源与信息、基因工程与蛋白质工程等方面的产业，适合开设与生物或药学专业相关的实验，如“维生素 C 片剂中维 C 含量的测定”。维生素 C 又称抗坏血酸，是一种水溶性维生素，在医药和化学上的应用广泛^[6]。该实验采用的直接碘量法可拓展到注射液、蔬菜、水果中维生素 C 的含量测定。另一个实验“化学直接合成法制备葡萄糖酸锌”也有重要的生物意义。葡萄糖酸锌作为一种常见的补锌食品添加剂，具有见效快、吸收好、副作用小、使用方便等特点，其制备过程可以训练或考查学生过滤、蒸发、浓缩、无机化合物重结晶等基本操作^[8]。有机合成方面可选择“扁桃酸”的制备实验^[6]。扁桃酸学名为 α -羟基苯乙酸，可口服用于治疗尿道感染，也可作为合成血管扩张药环扁桃酸酯及滴眼药羟基苄唑的中间体。实验过程重点训练学生对相转移催化反应的认识以及电动搅拌、萃取、低沸点溶剂蒸馏和有机化合物重结晶等基本操作。

此外，生物岛空气清新，生态环境良好，绿化覆盖率高，天然的土质资源非常适合开展面向环境科学专业的实验，比如“土壤中有效磷的光度测定”。通过此实验，学生能学习到土壤中有效磷的测定原理、方法及其供应状况，对作物施肥有直接的指导意义^[9]。岛上还有全国首个地埋式再生水厂，占地约 1 万平方米，可回收岛内 1.3 万吨污水，处理后供岛内循环使用。因此，有利于开设

如“水的总硬度的测定”实验^[6],通过对周边水源中 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 离子含量总和的检测,使学生掌握络合滴定法测定水的总硬度的原理和方法。通过该实验,学生了解饮用水和工业用水对总硬度的不同要求,明晰水源中离子检测的重要性及其检测方法。学生在熟练实验操作、学习化学知识的同时,还能增强保护环境意识。

3 因势利导

近年来国家非常重视粤港澳大湾区的发展,突出其在中国经济发展和对外开放中的引领作用。2017年7月1日,国家发改委、广东省、香港、澳门四方制定《深化粤港澳合作·推进大湾区建设框架协议》,协议提出打造国际科技创新中心^[10]。深圳作为经济特区与香港仅一河之隔,也是粤港澳大湾区四大中心城市之一,有一大批电子实业及能源相关产业扎根于此。结合近些年动力电池及清洁能源快速发展的迫切需求,位于深圳校区的材料科学专业“因势利导”紧跟科技创新前沿,可开设“柠檬酸法制备固体燃料电池 SDC 粉体”或“石墨烯薄膜的制备”实验^[8]。前一个实验主要训练学生对固体燃料电池概念的理解以及复合粉体的制备方法,所制备的固体氧化物燃料电池是一种全固态化学发电装置,也是一类新型高效的清洁能源。后一个实验是经典的“诺贝尔奖”实验,有利于加深学生对石墨烯的结构和性质的认识以及熟悉氧化石墨烯的制备方法。石墨烯的高载流子迁移率赋予它优异的导电性能,可用来制备高稳定性单电子晶体管,因而它的首次制备者安德烈·盖姆和康斯坦丁·诺沃肖洛夫教授荣获了2010年诺贝尔物理学奖。

2019年2月18日,中共中央、国务院正式印发了《粤港澳大湾区发展规划纲要》(下称《纲要》),明确指出打造粤港澳大湾区教育和人才高地的重要性,要充分发挥粤港澳高校联盟的作用,鼓励粤港澳三地高校探索开展相互承认特定课程学分、实施更灵活的交换生安排、科研成果分享转化等方面的合作交流^[11]。我校广州、珠海、深圳三个校区的本科教学对大湾区教育事业的发展影响重大。在国家相关政策推动下,大学化学实验课程“因势利导”将为打造国际化教育高地添砖加瓦。

首先,试行三地交流会。可组织教研室教师赴港澳高校观摩学习基础实验教学课程,了解基础设施配套情况;同时,可邀请对方教师到本校交流学习,共同为大学化学实验的教学和设施建言献策。另外,利用交换生项目开展粤港澳三地本科生学习交流计划,从学生角度看待大学化学实验课程的改革内容和发展方向。

其次,推广全英式教学。为更好地契合《纲要》内容,部分实验推荐采用全英式教学。比如,环境科学专业可开设与污水检测有关的实验“Spectrophotometric determination of trace iron in wastewater using 1,10-phenanthroline as chromogenic reagent”,实验过程包括“Absorption curve, Optimization for the amount of chromogenic reagent, Standard curve, Determination of trace iron in wastewater”。为加深学生对甲醛溶液(又称福尔马林)的了解和认识,医学专业可以开设甲醛滴定实验“Determination of the nitrogen in ammonium sulfate (by formaldehyde)”,具体步骤涉及“Preparation and standardization of $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaOH aqueous solution, Pretreatment of formaldehyde aqueous solution, Determination of nitrogen in the sample”。药学专业可开设生活中常见药物的合成实验,如“Preparation of acetyl salicylic acid (aspirin)”,以达成“familiar with the preparation principle and method of aspirin, grasping the installation and operation of common reflux setup, familiar with the operation technology of recrystallization refined solid products”的实验目标。通过全英式实验教学提高教师和学生专业英语水平、英语表达和书写能力,有助于增强中国港澳交换生或外籍学生对实验内容和原理的理解力,更好地促进粤港澳三地高校的合作交流。

最后,落实信息化课堂。为了契合大湾区国际教育示范区的规划,须大力推广实验教学的信息化建设。粤港澳三地高校可共建基础实验课程网络平台,互通有无,提供优质的网络资源;抑或共建精品网络课程或 MOOC (慕课),共同拓展大湾区实验教学的宽度,发展基础实验教学的国际性。

4 自选课题实验

良好的实验教学能激发学生对大学化学的学习兴趣和探索激情^[12,13]。为发挥学生的主观能动性,在“三因一选”教学模式的基础上,我们再提出 231 模式,即 2 个基础实验、3 个专业相关实验和 1 个自选课题实验(如表 1 所示)。所推荐的自选课题实验从生活出发,贯穿查阅资料、制定方案、动手操作及获得产品等过程,实现由理论知识指导实验、从实验结果验证理论的科学目的。

为保持自选课题实验的多样性,建议给出多个实验供学生选择,比如由废铝箔制备硫酸铝钾大晶体,从鸡蛋壳出发制备过氧化钙,酚试剂分光光度法测定室内空气中甲醛的含量,纸色谱分离和鉴定头发蛋白中氨基酸,辣椒红色素的提取、分离及红外光谱法鉴定,槐花米中芦丁的提取与鉴定,以及可逆温致变色材料的制备等实验^[6,8,14]。考虑到学生独立实验的能力值或在团队合作中的活跃度,具体实施可采用两种方案:1) 独立实验,每位学生按照自己所选实验进行准备,实验过程根据前期准备工作和教师的提示独立完成;2) 分组实验,例如三人一组完成两个实验,提前做好准备工作,除教师提示之外实验过程学生不能查看任何参考资料。前者强调个人的实操和独立思考能力,后者重视团队的合作和执行能力。

新一轮科技革命和产业革命将同人类社会形成历史性交汇,尖端型人才和重量级团队都将成为推动人类社会发展的引擎。在自选课题实验中如何既保持学生的自由度,根据已有资料利用自己所学完成实验,又能让个体融入团队,与其他成员合作发挥整体实力?这个问题需要我们集思广益、共同商讨。

表 1 大学化学实验“三因一选”教学模式推荐内容

专业	实验内容			
	因“材”施教	因地制宜	因势利导	自选课题实验
海洋科学	海水中氯化钠的提取与纯化; 水中化学耗氧量(COD)的测定	海水中氯化钠的提取与纯化; 水中化学耗氧量(COD)的测定		由废铝箔制备硫酸铝钾大晶体
环境科学	钒酸铋黄色颜料的制备; 环境友好产品——CaO ₂ 的制备 及含量测定	水的总硬度的测定; 土壤中有效磷的光度测定	Spectrophotometric determination of trace iron in wastewater using 1,10- phenanthroline as chromogenic reagent	从鸡蛋壳出发制备过氧化钙; 酚试剂分光光度法测定室内 空气中甲醛的含量
生命科学	有机化合物的性质(胺、糖); 植物色素的提取和柱层析; 乙醇	维生素 C 片剂中维 C 含量的测定; 化学直接合成法制备葡萄糖酸锌		纸色谱分离和鉴定头发蛋白 中氨基酸; 辣椒红色素的提取、分离及 红外光谱法鉴定
医药科学		维生素 C 片剂中维 C 含量的测定; 化学直接合成法制备葡萄糖酸锌; 扁桃酸	Determination of the nitrogen in ammonium sulfate (by formaldehyde); Preparation of acetyl salicylic acid (aspirin)	槐花米中芦丁的提取与鉴定
材料科学			柠檬酸法制备固体 燃料电池 SDC 粉体; 石墨烯薄膜的制备	可逆温致变色材料的制备

5 结语

党的十三大提出“百年大计，教育为本”，表明国家的长远发展离不开教书育人。习近平总书记强调，教育大计，教师为本，教师不能只做传授书本知识的教书匠，而要成为塑造学生品格、品行、品味的“大先生”^[15]。如今，在新时代背景下，大学化学实验课程的目标可归纳为以理论知识为基石，通过因“材”施教、因地制宜和因势利导的方法将课本内容落实到具体实验中，探索开放性自选课题实验的教学模式，为强国战略培养优秀的综合型人才。

参 考 文 献

- [1] 陈磊, 韩士德. 人才资源开发, **2010**, No. 8, 6.
- [2] 高书国. 人民教育, **2010**, No. 17, 16.
- [3] 崔治清. 广东化工, **2018**, 45 (9), 234.
- [4] 牛丽红, 崔爱莉, 尉京志, 杨锦, 张四纯. 实验技术与管理, **2017**, 34 (11), 210.
- [5] 杨伯俊. 论语译注(简体字本). 北京: 中华书局, 2017.
- [6] 李厚金, 石建新, 邹小勇. 基础化学实验. 第2版. 北京: 科学出版社, 2015.
- [7] 崔治. 吴越春秋(中华经典名著全本全注全译). 北京: 中华书局, 2019.
- [8] 中国科学技术大学无机化学实验课题组. 无机化学实验. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2012.
- [9] 陈焕光, 李焕然, 张大经, 谢天尧, 黄滨. 分析化学实验. 第2版. 广州: 中山大学出版社, 1998.
- [10] 泛珠三角合作信息网. [2017-07-04]. http://www.pprd.org.cn/fzgg/hzgh/201707/t20170704_460601.htm.
- [11] 中共中央 国务院印发《粤港澳大湾区发展规划纲要》. 北京: 新华社, 2019-02-18.
- [12] 王新梅. 课程教育研究, **2017**, No. 29, 176.
- [13] 郭栋才, 王玉枝, 李永军, 吴朝阳, 刘浩然, 蔡双莲, 高娜, 蔡炽. 大学化学, **2019**, 34 (4), 1.
- [14] 彭敏, 石建新, 王周, 李莲云. 大学化学, **2019**, 34 (9), 91.
- [15] 全国高校思想政治工作会议. 北京, 2016-12-07.