科教融合，分类施教 ——农林院校分析化学实验课程的改革与实践

陈媛梅*

北京林业大学理学院，北京 100083

摘要：以“科教融合”“分类施教”理念为指导，结合农林院校近化学相关专业人才培养需求，构建了分析化学实验课程的差异化教学模式。将研究成果转化成具有农林特色的创新综合实验、设计实验，最新科研案例及时融入课堂教学，激发学生学习兴趣；精心设计教学过程，提高教学针对性和有效性。此外，还对分析化学实验中实施“科教融合”的价值进行了分析。

关键词：科教融合；分析化学实验；农林院校；教学改革；教学实践

中图分类号：G64；O6

“Integration of Science and Education” and “Classified Teaching”: Reform and Practice of Analytical Chemistry Experiment Course in Agricultural and Forestry Colleges

Yuanmei Chen *

School of Science, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China.

Abstract: With “integration of science and education” and “classified teaching” as the guidance, the differentiated teaching mode of analytical chemistry experiment was made to meet the needs of chemistry related majors in agricultural and forestry colleges. In order to stimulate students’ interest in learning, the research results were transformed into innovative comprehensive experiments or designing experiments with the characteristics of agriculture and forestry, and the latest scientific research cases was timely integrated into classroom teaching. Teaching process was designed carefully to improve the pertinence and effectiveness. Additionally, the value of “integrating science and education” in analytical chemistry experiment is discussed.

Key Words: Integration of science and education; Analytical chemistry experiment;
Agricultural and forestry colleges; Teaching reform; Teaching practice

分析化学实验是高等农林院校近化学专业必修的一门基础实验课程。北京林业大学分析化学实验授课对象为一、二年级本科生，涉及生命科学类、环境工程与科学类、林产化工、食品科学(在下文中，这些专业依次简称为生物、环境、林化、食品)等“双一流”或重点学科的相关专业，每学年开设的实验项目有11个，每年涉及学生人数近900人。

2019年，教育部发布“教高〔2019〕6号”文件^[1]，明确提出“推动科研反哺教学”，强调“强化

收稿：2021-06-21；录用：2021-08-18；网络发表：2021-08-24

*通讯作者，Email: chym11@bjfu.edu.cn

基金资助：北京林业大学2019年“科教融合”项目(BJFU2019KJRHKC006)；北京林业大学2019年教育教学研究项目(BJFU2019JY090)

科研育人功能,推动高校及时把最新科研成果转化为教学内容,激发学生专业学习兴趣”。分析化学实验是借助于实验手段和分析仪器研究物质客观存在的信息(包括物质组成、含量和微观结构等)的学科。分析测定过程实际上是追求真理的过程,分析化学实验是最能将“科教融合”理念加以充分实践的课程。然而,国内分析化学实验教学研究集中在分析方法的改进、实验项目开发、教学方法改革、评价体系的完善、课程思政等方面^[2-7],在“科教融合”方面的改革尚有探索空间。

农林院校不同专业的培养目标存在差异,对分析化学实验的实际需求各不相同。在推行本科专业认证的大环境下,需要基础课程与认证标准相吻合。如何将“科教融合”理念融入分析化学实验教学,更好服务所有专业,助力“双一流”学科、“新工科”、“新农科”建设,提高教学的有效性、针对性?为此,结合我校相关专业的不同需求,在分析化学实验课程中开展了基于“科教融合”的教学改革。通过科研成果在教学中的渗透、开发原创新实验、设计教学过程等方面进行探索与实践,实现“科研反哺教学”“分类施教”^[8],焕发学生的学习热情,赋能学生自主学习,激发学生学习潜能。

1 科教融合的研究基础

教师的科研工作、科研成果是开展科教融合的教学基础。课程组教师积极从事化学与农林相关学科交叉融合的研究,运用专业知识研究农林问题。主持和参加的科研项目包括“油松雌配子体游离核有丝分裂的分子调控机制”“Pickering乳液两相体系催化果糖直接转化制备2,5-二甲基呋喃的研究”“植物源活性物质的提纯新技术及其仿生合成与利用化学”等,在功能材料的合成及改性、水环境中有害物质的检测与去除、植物源活性物质的提纯新技术及其仿生合成与利用化学等领域取得了丰硕成果,发表相关论文30余篇。这些论文是开发创新实验项目的优质素材和资源。这些成果加以提炼、优化后,融于课堂教学,或者转化成新实验项目,不仅可以激发学生的学习兴趣、拓宽学生视野,还能激励教师积极参与科研、保持教学内容的实用性和前瞻性。

在分析化学实验教学中,课程组教师一直注重把科研与教学有机融合^[9,10]。2012年,开始尝试将科研成果转化成教学内容。在12级梁希班(梁希班,是北京林业大学以林学家梁希命名的尖子班)试点开设了探索性实验“树叶中叶绿素的提取与分析”。之后,将已发表的科研论文^[11]加以提炼,转化成了原创综合实验项目“构树叶中黄酮类化合物的提取及测定”,并于2014年首次在梁希班试点开设。该新实验最初作为设计实验试点开设,随后,经过多年教学实践的检验,实验讲义经反复修改和完善,于2019年作为新的综合实验正式写进了教学大纲。

总之,前期教学研究成果初步奠定了科教有机融合的基础,教师的科研成果为开发创新实验、实现科教融合提供了素材。另外,北京林业大学化学实验中心为项目开展教学实践提供良好实验条件。

2 科教融合的课程改革与实践

“科教融合”的分析化学实验课程教学模式,由科研成果转化成特色原创实验、学科前沿研究成果提炼成教学案例、科教融合的教学设计等几个方面构成。

2.1 科研成果转化成特色原创实验

2.1.1 开发具有农林特色的综合实验

课程组教师从事与农林学科相关的研究,取得了科研成果,发表了科研论文。另外,林化、环境、食品、生物等专业对分析化学实验的需求各不相同。前期调研得知,林化专业希望为后续的专业实验打下坚实基础;环境专业的诉求是开设与环境样品分析相关实验;食品专业要求学习有关多糖、天然色素的提取与分析技术;生物专业需要涉及蛋白质、氨基酸的一些分析。针对上述不同专业的不同需求,利用教师的研究成果或科研论文,挖掘与农林院校不同专业对接、具有农林特色的新综合实验。

首先,精心挑选科研成果或科研论文,作为创新实验项目的资源。选择时,需综合考虑诸多因素,主要有:体现农林院校的行业特色、适用于农林院校不同专业、实验内容和操作难度适中、实验室能够提供相应的仪器设备等。经课程组教师周密考虑并讨论决定,在课程组教师已经发表的科研论文或者指导的“大学生科技创新计划”项目的研究成果中,选中了六篇论文^[9,12-16]用作转化成原创综合实验的资料。

其次,编撰实验讲义。编写讲义时,要求符合规范性、完整性、合理性和可操作性,同时还应具有适度的挑战性。实验讲义由实验目的、实验原理、仪器及试剂、实验步骤、思考题、实验记录等模块构成。除了前期开发的“构树叶中黄酮类化合物的提取及测定”外,又编写了四个具有农林特色的原创综合实验讲义,包括:“西红柿中类胡萝卜素提取及分光光度法分析”“西府海棠花中蛋白质提取及分光光度法分析”“加杨叶总酚提取及分光光度法分析”和“重瓣榆叶梅花中黄酮的提取及分光光度法分析”。计划将这些实验依次与食品、生物、环境和林化等专业对接,在分析化学实验课教学中分别面向这些专业开设。

最后,进行预实验,以便检验实验的可操作性。组织课程组所有教师参与预实验,并且教师分组实验,每个实验至少进行三轮预实验。实验时,即便每个实验组的实验流程完全相同,也要求实验“细节”有所不同。这里的“细节”是指试样或试剂的用量、有效成分的提取条件、待测液或标准溶液的浓度等。实验后,将各实验组的结果进行对照、优选,敲定最终实验方案。

2.1.2 开设计实验

课程组开发了具有行业特色的原创综合实验。但是,这些实验在全校范围内推广之前,必须经历一个“探索”阶段。

在“探索”阶段,这些原创实验作为设计实验,在挑选的个别班级中试点开设。早期开发的“树叶中叶绿素的提取与分析”已编入《分析化学实验》^[17]。在新开发的实验项目中,“构树叶中黄酮的提取及分析”已经编入教学大纲;“西红柿中类胡萝卜素提取及分光光度法分析”和“重瓣榆叶梅花中黄酮的提取及分光光度法分析”,已经在17级、18级两届梁希班中作为设计实验试点开设;“西府海棠花中蛋白质提取及分光光度法分析”和“加杨叶总酚提取及分光光度法分析”,已经通过预实验,并且在19级梁希班中作为设计实验开设。

2020年春季学期,突如其来的新冠肺炎疫情给教学带来了严重冲击,在“停课不停教、停课不停学”中^[18],包括实验课在内的几乎所有课程都转为线上教学。线上教学在师生和生生互动、教学资源共享等方面优势明显^[19],为实验课程在科教融合、实验方案设计等方面提供了可能。基于线上教学的优势,2020年春季学期,我校分析化学实验课强化设计实验环节,将开发的原创实验在部分班级中作为设计实验开设。

2.2 学科前沿研究成果提炼成教学案例

我校分析化学实验主要是定量分析,内容包括滴定分析和分光光度法测定。其中,滴定分析是经典化学分析方法,在生产实践、科学研究、环境监测、医学检测、军事、高科技以及航空航天领域等有重要应用。同时,专家学者发表了数量可观的与分析测试有关的研究论文,这为分析化学实验开展“科教融合”提供了丰富的教学资源。

结合当前科技热点话题,在授课过程中,实时介绍分析化学实验在该领域的应用。2021年5月15日,“天问一号”火星探测器在首选落点(即火星北半球的乌托邦平原)着陆。火星外表呈现橘红色,是因为火星地表被赤铁矿(Fe_2O_3)覆盖。目前,包括“祝融号”在内的多个火星车在火星表面已经完成或正在执行探测任务。火星探测的下一个目标:完成火星样品采样并携带样品返回地球。将来,假如这一目标得以实现,那么,分析化学实验课所用的方法中,哪些可用于测定火星样品中的 Fe_2O_3 ?若携带回来的火星样品质量满足半微量分析要求,采用邻二氮菲分光光度法;当采集的火星样品质量达到常量分析要求时,用配位滴定法或者氧化还原滴定法。

分析化学实验技术在现实生活、生产实践中有着广泛应用,相关的科研成果或者论文异常丰富,

这些可用作“科教融合”的素材。教学中,对于不同专业的学生,选择不同的科研素材,以满足专业的特殊需求。这里仅举一例。

氮芥(又称恩比兴、盐酸氮芥)主要用于治疗恶性淋巴瘤及癌性胸膜、心包及腹腔积液,为最早用于临床治疗肿瘤的药物之一,是其他烷化剂抗肿瘤药的代 表,其衍生物在临床癌症治疗中占有一定地位。然而,这类抗癌药物的产生,可溯源到一战期间出现的芥子气(β,β' -二氯乙基硫醚,化学式 $(\text{ClCH}_2\text{CH}_2)_2\text{S}$)。臭名昭著的芥子气有“毒剂之王”之称,是一种糜烂性化学战剂。测定芥子气纯度可采用酸碱滴定法^[20]。

另一方面,开展“科教融合”教学中,根据不同授课专业对分析化学实验的特殊需求,还为各专业量身定制专属学科研究案例。例如,前文中关于芥子气纯度测定的案例,可在生物专业授课时选用。限于文章的篇幅,这里再举一例加以说明。下面是林化专业授课中的定制案例。

林产化工涉及树木及林特产品的研究及开发利用。对树木资源中的有效成分进行分析、对林特产品的质量进行检测等,是林产化工行业的必需环节。天然橡胶因其优异的综合物理机械性能,具有更加广泛的用途,甚至火箭、人造地球卫星和宇宙飞船等高精尖技术领域的产品都离不开天然橡胶。显然,橡胶制品质量至关重要,而质量监控离不开化学检测。天然橡胶中,除了91%–94%橡胶烃(顺-1,4-聚异戊二烯),还含有蛋白质、脂肪酸、灰分等。根据GB/T 8088–2008,天然胶中蛋白质含量测定可采用酸碱滴定法。

2.3 “科教融合”教学的设计

2.3.1 基础实验的教学设计

我校开设的基础实验主要为滴定分析实验,旨在训练学生的基本操作技能和实验素养,提高学生动手能力。对于这类实验,科教融合的关键环节是课前收集科研案例。

备课时,教师大量收集学科研究文献,包括近期公开发表的相关科研论文、教师的科研成果等,然后,整理并加以提炼成教学案例,每个案例配备1–2个思考题。随后,教师将科研案例通过微信、学习平台推送给学生。上课前,学生阅读相应的科研素材,完成思考题并就案例发表看法。或者,课堂上正式讲解实验内容前,作为拓展知识,用不超过3分钟时间介绍与当次实验相关的科研案例,提问,学生答题。无论是课前推送,还是课堂上简介科研案例,学生都需完成配备的思考题,随后教师就学生的答题情况进行点评。

例如,“白醋总酸量的测定”和“草酸摩尔质量的测定”是我校开设的酸碱滴定基础实验,学生从这两个实验中任选一个。氮芥的相关应用及芥子气的检测用作本次实验“科教融合”的案例,为生物专业学生授课时选用,在课前推送,设置的问题是:“用什么方法测定芥子气的含量?”由于是课前推送,学生有充足时间收集资料,给出的答案包括“气相色谱-质谱法”“分光光度法”“液相色谱-质谱法”“表面增强拉曼光谱”等。教师点评时,需明确告知,上述这些检测手段属于仪器分析方法。仪器分析和滴定分析分别适用于微量(组分)分析和常量(组分)分析。若检测环境污染物、中毒后的生物样品中的芥子气,采用仪器分析方法;分析的是化学试剂芥子气时,可用酸碱滴定法。

在基础实验中渗透学科前沿案例,可使讲课内容更有深度,刺激学生的学习热情。然而,值得一提的是,学习这门课的多为大学一年级学生,学习任务相对繁重。因此,不建议将学科前沿案例全都放在课前推送,最好以课上简介为主、课前推送为辅,以免个别学生因学习负担加重而产生负面情绪。

2.3.2 设计实验的教学设计

如前所述,我校新开发的原创实验在全面推广前,作为设计实验开设,同时还是探究性实验,要求所有学生必须参与整个研究环节。例如,原创综合实验“重瓣榆叶梅花中有效成分的提取与分析”,在正式开设之前是设计实验项目,用于替换原有的一个基础实验。

首先,选择试点班,学生分组选题。我校梁希班学生通常在18人以内,人数不多,适合开展设

计实验教学,故挑选梁希班为试点班。拟定了三个设计实验项目,包括:“重瓣榆叶梅花黄酮的提取与分析”“重瓣榆叶梅花蛋白质的提取与分析”和“重瓣榆叶梅花多糖的提取与分析”。要求:(1)2-3人为一组;(2)在三个实验项目中任选一个;(3)采用分析化学理论课上学过的方法进行测定。学生多数选择分析花中的黄酮,以17级梁希班为例,每组3人,全班共分六组,有四组、一组和一组依次选择上述三个实验项目。

然后,以实验组为单位查阅文献,设计实验方案,各组以PPT演示分享方案。完善、修改后,确定实验方案。如果选做同一个实验项目,各组的实验流程可以相同,但要求实验细节要有所不同。比如,17级梁希班有四组学生选择“重瓣榆叶梅花黄酮的提取与分析”,尽管实验过程相同,但是四个实验组设定的实验条件并不完全相同,指称取重瓣榆叶梅花的质量、乙醇提取溶剂的浓度、提取黄酮的时间及温度、用分光光度法检测时所用的芦丁标准系列溶液的浓度等有所不同。

最后,分组完成实验、分析实验结果。各实验组按照各自的实验方案进行实验。“重瓣榆叶梅花黄酮的提取与分析”实验中,用硝酸铝分光光度法测定总黄酮,有的实验组在显色反应后,溶液比预想的颜色浅很多,测得的吸光度偏小。此时引导学生思考:为什么溶液颜色浅?实验结束,处理数据,所得产率偏低。该实验组积极讨论,最终找出实验结果偏低的原因:实验中,没有采用重瓣榆叶梅花黄酮的最佳提取条件,不能将花中的黄酮全都提取出来。

2.3.3 创新综合实验的教学设计

新开发了具有农林特色的原创实验,经课程组教师三轮预实验,改进了实验方案。然后,每年挑选一个班作为试点班,以设计实验形式至少开设三届。待实验方案完全成熟后,原创实验方能作为综合实验全面推广,而且不同的专业设定不同的实验,用以取代原有的一个基础实验。

这些具有农林特色的原创综合实验,是本改革实践的“闪光点”,也是本课程的“人气”实验项目。实验中采用植物的花、叶、皮等作试样,研究其中有效成分,如黄酮、多酚、蛋白质、多糖等。

这类实验的教学设计注重呈现科学研究的全流程。“重瓣榆叶梅花黄酮的提取与分光光度法分析”,21年春季学期作为综合实验开设,其教学设计如下所述。

首先,采样。植物试样要求学生自己采样。作为综合实验,这个实验安排在5月份,而重瓣榆叶梅花期在3-4月,故需提前组织学生采花。实验课开课之初,就把采样任务布置给各班班长,到4月初,学生在班长带领下采集花朵,于冰箱冷冻室储存。其次,制备试样。实验前,将速冻后的花朵直接研磨成糊状后使用。对于其他实验,叶、花等试样可能需要低温烘干,再经粉碎制成粉末后取用。随后,分组实验。学生2-3人为一组,按照统一的讲义积极完成实验,再处理数据、撰写实验报告。

值得一提的是,实验中使用的植物试样,有季节限制。重瓣榆叶梅花、西府海棠花等花材,在3-4月份到达盛花期,有效成分含量最高,使用这时期的花材实验效果最佳;杨树叶、构树叶在8-9月份最为成熟,这段时间的药用成分最多。然而,综合实验通常安排在实验课的后半期,大约在5月份或10月份。因此,需要组织学生提前采样。

2.4 “科教融合”教学的学习评估

针对基础实验、农林特色的综合及设计新实验,对学生的学习采取不同的考核评价方式。

基础实验和原创综合实验,成绩评定基本相同,由预习、实验操作和实验报告成绩构成。不同之处在于,前者的预习成绩中包含科研案例考核,后者将植物样品的采集、前处理的考查纳入预习成绩。基础实验教学中,作为拓展素材的学科研究案例中设置了思考题,学生的答案反映出他们对案例的关注程度。此项学习评价划归到实验预习成绩中,占实验成绩的10%左右。原创综合实验教学中,对学生参与样品采集、预处理的情况进行评分,归入到预习成绩,占实验成绩的15%左右。

设计实验,学生成绩包括文献查阅、课堂讨论和现场实验成绩,依次占本次实验成绩的40%、30%和30%。文献查阅成绩,根据每个人的表现,由同一实验组内的同学讨论决定;课堂讨论成绩,是在各实验组用PPT展示实验方案时,由其他实验组同学和教师来评定,同组内同学的此项成绩都

相同;实验成绩,根据学生的实验表现由教师给出。

3 “科教融合”教学模式的价值分析

3.1 “量身定制”农林特色创新综合实验,激发学生学习兴趣

本课程改革最“出彩”之处,是开发了具有农林特色的综合、设计新实验。这些实验针对我校林化、环境、食品、生物等不同专业,“量身定制”不同的实验项目,实现“差异化”教学,提高教学的针对性和有效性。

同时,创新实验中,采用植物的花、叶、皮等作试样,研究其中有效成分,体现农林学科特色,培养学生农林情怀,增强学生对所学专业的认同感,激发学生求知欲望,提高学习效率。

3.2 体验“科学研究”全流程,提高课堂教学质量

开发的农林特色新实验既是综合实验,也是设计实验。实验对实际植物样品有效成分进行提取分析,学生需完成定量分析全过程,包括样品的采集、制备、处理,待测成分的提取与分析,数据处理与结果分析等。若是作为设计实验项目,还需要学生实验前查阅文献,分组讨论,然后编撰实验方案。通过这种“科学研究”的体验,加强学生对农林生产中实际样品的分析过程的认识,训练综合运用知识解决实际问题的能力,有效提高学生参与意识,提高课堂教学质量。

3.3 更新教学内容、丰富教学资源,促进教材建设

开发了五个具有农林特色的创新实验,这些实验用于替换部分原有的基础实验,实现教学内容的更新。本学科领域最新科研成果提炼成教学素材,实时融入分析化学实验教学,极大丰富了教学资源。体现了“将最新科研成果及时转化为教育教学内容^[8]”。

由我校教师主编的《分析化学实验》^[17]是本课程的指定教材,该教材面临修订。教材再版时,计划把开发的特色创新实验编入其中,最新科研成果提炼而成的教学案例也将写入教材的“学科前沿”模块。实现了教材的科学性、前沿性,进一步增强教材针对性和实效性^[8]。

4 结语

在“科教融合”“分类施教”视角下,对分析化学实验课程进行教学改革,实现“科研成果反哺教学”“科研成果进课堂,进教案,进实践”和“差异化”教学。

虽然,基于“科教融合”理念的分析化学实验课程改革实践取得了良好成效,但也提出了挑战。如何更好利用优质网络资源开展“科教融合”的教学活动,如何构建与“科教融合”教学模式更适应的学生考核与评价,等等。这些都将是分析化学实验课程后续的建设方向和改革切入点。

参 考 文 献

- [1] 教育部. 关于深化本科教育教学改革 全面提高人才培养质量的意见. [2019-10-08].
http://www.moe.gov.cn/srcsite/A08/s7056/201910/t20191011_402759.html
- [2] 章子恒, 胡然, 马艺瑾, 孙兴蓉, 马思维, 朱忍, 曹秋娥, 周川华. 大学化学, 2021, 36 (9), 2101012.
- [3] 章平平, 吴晓慧, 唐传球. 化学教育(中英文), 2021, 42 (10), 40.
- [4] 武海, 黄甜甜, 曾巧, 王华子, 金晓艳, 刘杰, 凡素华. 大学化学, 2021, 36 (9), 2103082.
- [5] 宿艳, 张永策, 潘玉珍, 杨成, 王雪, 黎原, 姜文凤. 大学化学, 2021, 36 (9), 2102032.
- [6] 赵云斌, 王宏, 刘敏, 王楠, 陈浩, 吴康兵. 大学化学, 2021, 36 (7), 2010016.
- [7] 刘晓庚, 刘琴, 李彭, 邵佳, 彭冬梅. 大学化学, 2021, 36 (3), 2010084.
- [8] 教育部. 教育部关于加快建设高水平本科教育全面提高人才培养能力的意见. [2018-10-08].
http://www.moe.gov.cn/srcsite/A08/s7056/201810/t20181017_351887.html
- [9] 刘源, 覃琳钧, 陈媛梅. 化学教育(中英文), 2018, 39 (18), 63.

- [10] 陈媛梅, 丁来欣. 大学化学, **2018**, 33 (12), 67.
- [11] 楚芳冰, 吴小燕, 丁来欣. 安徽农业科学, **2015**, 43 (14), 84.
- [12] 刘长付, 陈媛梅. 食品工业, **2013**, 34 (8), 76.
- [13] 李媛, 陈媛梅. 林业科技开发, **2010**, 24 (6), 96.
- [14] 徐毅励, 陈媛梅. 西北林学院学报, **2015**, 30 (3), 191.
- [15] 刘松, 李俊清. 内蒙古农业大学学报(自然科学版), **2019**, 40 (6), 89.
- [16] 李怡华, 陈媛梅. 中国农业大学学报, **2019**, 24 (7), 64.
- [17] 陈媛梅, 张春荣. 分析化学实验. 北京: 科学出版社, 2012: 1–136.
- [18] 关于在疫情防控期间做好普通高等学校在线教学组织与管理工作的指导意见. [2020-02-05].
http://www.moe.gov.cn/jyb_xwfb/gzdt_gzdt/s5987/202002/t20200205_418131.html
- [19] 李玲玲, 兰泉, 查正根, 蒋俊, 冯红艳, 郑媛. 大学化学, **2020**, 35 (5), 263.
- [20] 唐慧, 黄永鹏, 孟祥燕, 陈博, 焦剑岚. 化学分析计量, **2020**, 29 (3), 124.