



“饮料中咖啡因检测”的项目化学习*

陈 静 朱 征** 张玉娟

(南京外国语学校 江苏 南京 210008)

摘要:基于STEM理念,本文围绕“饮料中咖啡因检测”开展高中化学项目化学习,以高中化学核心知识为主要载体,通过问题驱动,设计丰富的学习实践活动,运用STEM跨学科融合完成项目任务。在项目化学习过程中,学生不仅习得知识和技能,还培养交流合作、创新思维、科学探究和解决问题等能力,提升化学学科核心素养和跨学科素养。

关键词:STEM理念;高中化学;项目化学习;咖啡因

文章编号:1008-0546(2023)08-0008-05

中图分类号:G632.41

文献标识码:B

doi:10.3969/j.issn.1008-0546.2023.08.002

《普通高中化学课程标准(2017年版2020年修订)》指出,选修课程可以围绕一个综合性项目组织实施,提倡综合使用实验探究、文献研讨、专题调查等多种方式开展教学。^[1]项目化学习是一种以学科的核心知识为中心的新型探究性学习模式,学生自主、合作、探究学习,获得与现实生活有关联且能付诸应用的学习结果。^[2]在真实学习情境中,项目化学习往往需要学生打破常规学科的界限,将分散的学科知识统整融合,以完成项目任务。STEM教育强调科学、技术、工程和数学之间的跨学科融合,关注新技术及其实际应用,培养能够综合运用跨学科融合解决实际问题的复合型创新人才。^[3]本文的项目化学习以化学学科知识为主要载体,开展系列化的学习实践活动,运用STEM跨学科融合探究饮料中咖啡因的检测,培养学生的化学学科核心素养和跨学科素养。

一、项目化学习主题

本文的项目化学习主题为“饮料中咖啡因检测”。该项目主题来源于真实生活,茶、咖啡、可乐等许多饮料都含有咖啡因,适量摄入咖啡因对人体是有益的,关注饮料中的咖啡因含量与人类的健康生活密

切相关。同时,检测饮料中的咖啡因承载了多学科知识,具有深入探究的意义,有利于帮助学生实现综合运用跨学科融合,完成项目任务。

从科学层面来看,该项目学习主要是检测咖啡因涉及的方法、原理,例如咖啡因的结构、物理性质、沉淀反应以及羰基的特征吸收峰等。从技术层面来看,该项目学习主要涉及掌握基本实验操作技能、使用现代分析仪器——高效液相色谱仪等。从工程层面来看,项目本身就是一个工程问题——先明确项目,再设计探究方案,最后实验探究测定饮料中的咖啡因含量。从数学层面来看,将数学作为一种有效的工具,分析方程式中的定量关系、绘制标准曲线以及处理数据等。

二、项目化学习目标

1. 通过检测饮料中的咖啡因,认识咖啡因的结构及性质,理解相关的方法、原理,初步形成从定性定量相结合的视角分析与解决实际问题的意识。
2. 采用高效液相色谱法测定饮料中咖啡因含量,掌握化学实验的基本操作,初步掌握高效液相色谱仪的操作,并能根据仪器分析的数据或图表推测物质的

*本文系江苏省中小学教学研究2019年度第十三期重点资助课题“STEM视域下高中化学项目化学习设计的实践研究”(2019JK13-ZA01)和2020年度江苏省基础教育前瞻性教学改革实验项目“指向复合型创新人才培养的STEM+教育实践探索”(2020JSQZ0137)的阶段性研究成果。

**通讯联系人,E-mail: zhu_z@nfls.com.cn



组成。

3. 提出问题,设计、评价和优化实验方案,运用化学实验等方法进行实验探究,体验科学探究的基本过程和方法,发展证据推理和科学探究能力。

4. 开展基于STEM理念的项目化学习,建立综合应用多学科知识解决实际问题的思路和方法,提高运用跨学科融合开展综合项目研究的能力。

三、项目化学习实施过程及学习成果

任务1:明确项目主题——认识咖啡因

【教师】夏日炎炎,不少同学喜欢喝饮料,比如可乐、咖啡以及茶饮等。这些饮料除了清凉解渴,还有提神醒脑的作用,这与饮料中的成分咖啡因有关。

【教师】咖啡因是从茶叶、咖啡果中提炼出来的一种生物碱。化学名称为1,3,7-三甲基黄嘌呤,分子式为 $C_8H_{10}O_2N_4$,化学结构式如图1所示。同学们对咖啡因还有哪些了解呢?

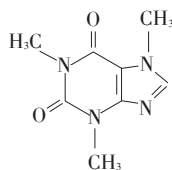


图1 咖啡因的结构式

【学生1】咖啡因是一种中枢神经系统兴奋剂,适度地使用,具有驱除疲劳、兴奋神经的作用。咖啡因既可作为食品的组分,又可以作为药品的原料。

【学生2】快速过量的咖啡因摄入会导致中枢神经系统过度兴奋,会对人体造成损害。所以,咖啡因也属于体育比赛中违禁药物兴奋剂中的一种。

设计意图:创设真实且富有价值的问题情境,激发学生兴趣,将学生的学习与生活紧密结合。引导学生关注与化学有关的社会问题,明确项目主题,培养学生的社会责任感、参与意识。

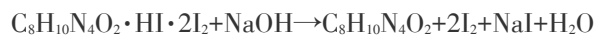
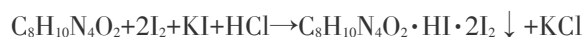
任务2:探究测定饮料中咖啡因的实验方案

【教师】如何定性检验饮料中含有咖啡因?

学生活动1:查阅文献(课前),汇报交流定性检验饮料中咖啡因的方法

【学生1】方法1:沉淀反应——取5 mL咖啡因的
化学教与学2023年第8期

饱和溶液,滴加几滴碘试液,无明显现象;再滴加几滴稀盐酸,生成红棕色沉淀,并能在稍过量的氢氧化钠溶液中溶解。这个方法操作简单、现象明显,被《中国药典》记载用于咖啡因的定性检验。



【学生2】方法2:紫外分光光度法——查阅文献发现,^[4]咖啡因的三氯甲烷溶液在276.5 nm波长下有最大吸收,可用于定性检验咖啡因。

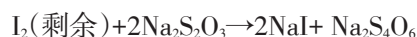
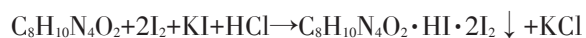
【学生3】方法3:红外光谱法——查阅文献可知,^[5]咖啡因在波数1698或1655 cm^{-1} 处有最强的特征吸收峰,而且受水的羟基吸收峰的干扰小。可选择1698 cm^{-1} 处的羰基特征吸收峰作为测定峰,定性检验咖啡因。

【学生4】方法4:高效液相色谱法——这是一种快速分离分析技术,^[6]利用混合物不同组分在固定相和流动相之间的相互作用力的差异,使不同组分分离,再进行检测。在相同的实验条件下,测定待测饮料的色谱图,对照比较咖啡因的保留时间,即可定性检验咖啡因。

【教师】咖啡因的含量是饮料和茶叶中的一个重要品质指标。健康成年人每天摄入的咖啡因量最多不超过400 mg。那么,如何定量测定饮料中咖啡因含量呢?

学生活动2:查阅文献(课前),汇报交流定量测定饮料中咖啡因含量的方法

【学生1】方法1:利用碘量法来定量测定咖啡因。^[7]根据沉淀反应发现,咖啡因在酸性条件下定量地生成沉淀,那么可以先加入过量的碘液与之反应,取滤液,再用 $Na_2S_2O_3$ 溶液滴定剩余的碘至接近终点,加淀粉指示液,继续滴至蓝色消失。从反应方程式中可以看出,1 mol I_2 相当于0.5 mol的咖啡因。



【学生2】方法2:紫外分光光度法中试样浓度与吸光度的关系服从比尔定律($A=klc$),从而可以利用标准



曲线法定量检验。

【学生3】方法3:高效液相色谱法中,在相同的实验条件下,测定待测饮料的色谱图,用峰面积作为定量测定的参数,采用标准曲线法即可定量检测饮料中的咖啡因含量。

【教师】这些定量测定饮料中咖啡因含量的方法有哪些优缺点?如何设计实验方案定量测定饮料中咖啡因含量呢?

学生活动3:查阅文献(课前),讨论不同方法的优缺点,设计实验方案定量测定饮料中咖啡因含量。

【学生1】传统的咖啡因检测方法——碘量法需要滴定操作,要求高,操作复杂,容易带来误差,比如滴定终点颜色的判断有偏差,会导致定量测定有误差。

【学生2】紫外分光光度法中预处理过程比较复杂,比如可乐饮料需脱气后以三氯甲烷为萃取液进行富集;会有干扰问题,如待测液中的成分有颜色。

【学生3】在红外光谱法中,水的羟基吸收峰会掩盖其他的特征吸收峰,带来干扰问题,所以红外光谱法对湿度有要求,一般不用于检验水溶液体系。

【学生4】高效液相色谱法操作简便(样品预处理简单)、快速、准确,适合微量样品量测定。

【教师】高效液相色谱法是目前准确测定咖啡因含量的国际通用方法,并被国家标准采用。《食品安全

国家标准 饮料中咖啡因的测定》新标准 GB 5009.139-2014 采用高效液相色谱法测定饮料中咖啡因,删除了原标准 GB 5009.139-2003 中的紫外分光光度法。请同学们阅读资料,分析原因。

【学生1】对比分析可知,由于高效液相色谱法是将各个组分先分离后检测的方法,因此2014版新标准中采用的高效液相色谱法的检出限更低,方法更灵敏,准确度更高。

【学生2】综合以上的分析,我们可以设计这样的实验方案——利用高效液相色谱法测定饮料中咖啡因含量:先选择色谱条件,测定不同浓度的咖啡因系列标准溶液,然后绘制咖啡因标准曲线,再测定待测样品中的咖啡因含量。

设计意图:结合学生认知发展特点,设置具有一定层次性的驱动型问题,逐步引导学生探索科学原理方法,理解化学学科的核心概念和关键原理。学生查阅文献资料,讨论交流,设计实验方案,自评、互评,优化实验方案,初步形成定性与定量相结合研究的意识。

任务3:高效液相色谱法测定饮料中咖啡因含量

学生活动4:利用高效液相色谱法绘制咖啡因标准曲线。

项目成果:通过文献调研,确定测量的色谱条件:

色谱柱: C ₁₈	流动相: V _(甲醇) : V _(水) = 40 : 60	检测波长: 275 nm
流速: 1.0 mL · min ⁻¹	进样量: 10 μL	柱温: 室温

图2 测量条件

按照如下步骤,利用高效液相色谱法绘制咖啡因的标准曲线。

(1)配制咖啡因标准储备液:精密称取干燥至恒重的咖啡因 50 mg,用超纯水溶解。转移至 50 mL 容量瓶中,加水溶解,定容至刻度,摇匀,作为标准储备液(1000 μg · mL⁻¹)。

(2)配制咖啡因系列标准溶液:准确移取咖啡因标准储备液 1.00、2.00、3.00、4.00、5.00、6.00 mL 分置于 50 mL 容量瓶中,加超纯水稀释至刻度,摇匀,得到

浓度为 20、40、60、80、100、120 μg · mL⁻¹ 系列标准溶液。取上述系列浓度溶液经 0.45 μm 滤膜过滤后(弃去前过滤液,取后面的续滤液),分别注入 2 mL 样品瓶中备用。

(3)取咖啡因系列标准溶液分别进样 10 μL,按色谱条件进行分析测定。

测定咖啡因标准品的色谱图,其保留时间为 2.740 min(如图4所示)。记录并处理数据,绘制咖啡因标准曲线(如图5所示),该曲线的相关系数为

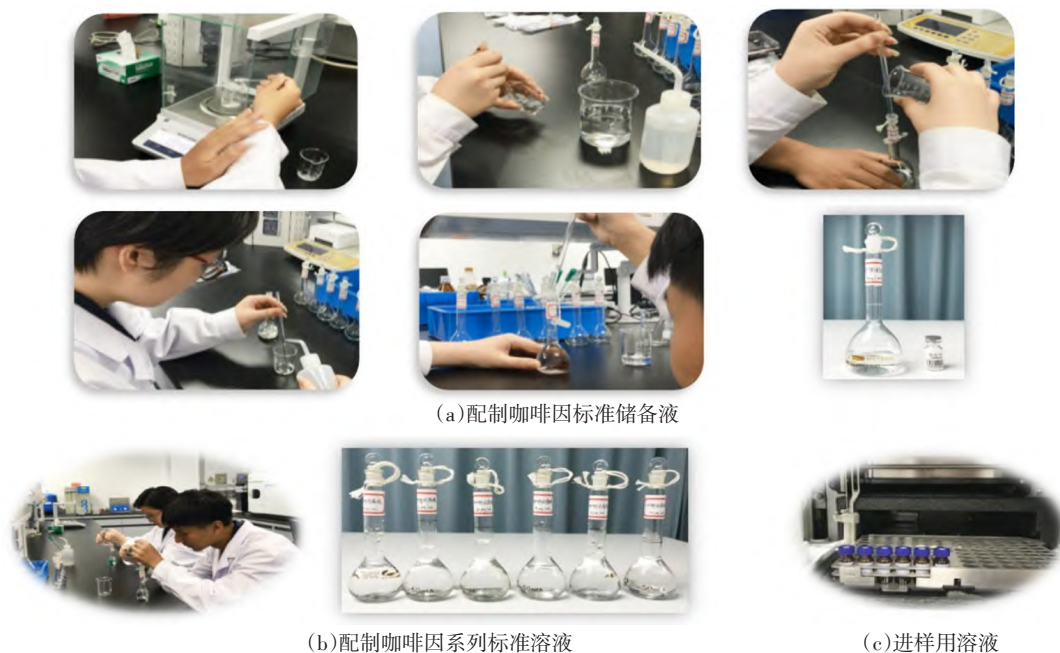


图3 配制咖啡因系列标准溶液

0.99961, 说明该曲线满足线性关系, 咖啡因浓度与峰面积的相关性良好。

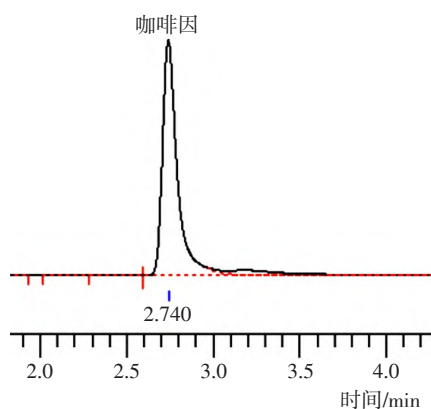


图4 咖啡因标准品高效液相色谱图

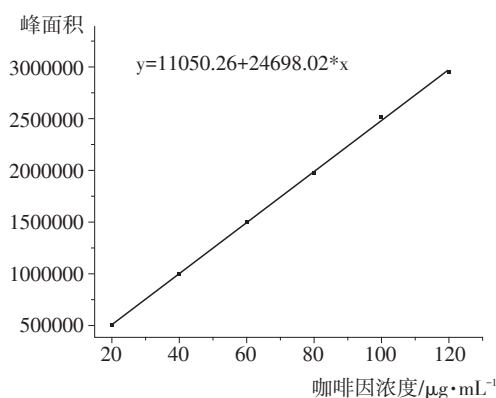


图5 咖啡因标准曲线

学生活动5: 利用高效液相色谱法测定三种饮料中咖啡因含量。

项目成果: 按照如下步骤测定冰红茶、可口可乐和红牛功能饮料等三种饮料中的咖啡因含量。

(1) 样品的预处理

可口可乐脱气: 取 25 mL 可口可乐置于洁净、干燥的 100 mL 烧杯中, 超声波脱气 15 min, 以赶尽可口可乐中 CO₂。

稀释红牛饮料: 准确移取 10.00 mL 红牛饮料置于

25 mL 容量瓶中, 加超纯水稀释至刻度, 摇匀。咖啡因含量较高的红牛饮料需经过稀释, 以使稀释后的溶液浓度能在咖啡因标准曲线的线性范围内。

将三种饮料待测溶液经 0.45 μm 滤膜过滤(弃去前过滤液, 取后面的续滤液)后, 分别注入 2 mL 样品瓶中备用。

(2) 取三种饮料待测溶液分别进样 10 μL, 按色谱条件进行分析测定。做三次平行实验, 对照咖啡因标准曲线, 计算结果如表 1 所示。



表1 三种饮料的咖啡因含量

咖啡因含量/($\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$)	冰红茶	可口可乐	红牛功能饮料
实验1	53.3134	98.3916	190.2202
实验2	53.3905	98.1087	190.8200
实验3	52.1526	98.0689	189.9145
平均值	52.9522	98.1897	190.3182

设计意图:引导学生运用工程思维开展学习实践活动——先明确项目,再查阅文献、分析讨论,设计探究方案,最后小组合作实验探究。以现代分析仪器技术为支撑的实验探究过程,强调技术知识的理解和技术工具的使用,并结合数据、图表等数学知识分析科学问题。学生整合多学科知识,综合运用科学、技术、数学知识,体验以工程的思想完成项目任务。

任务4:项目化学习交流及评价

学生活动6:探究三种饮料中咖啡因含量交流及评价

【学生1】研究饮料中的咖啡因含量是有价值的,通过探究不同饮料中的咖啡因含量,可以指导我们更好地摄入咖啡因,健康生活、健康饮食。

【学生2】三种饮料中,红牛功能饮料中的咖啡因含量最高。根据实验结果可估算出一罐250 mL红牛功能饮料大约含有48 mg咖啡因,与瓶身标签显示的约含50 mg咖啡因相接近。

【学生3】在项目化学习过程中需要具有严谨求实的科学态度,需要基于证据进行分析、推理以获得结论,需要综合评价以选择最适合的方法,需要多次平行实验减少实验误差。

【教师】同学们综合运用化学和其他学科的知识成功地完成了项目任务。希望同学们在未来的生活中关注学科本质,勤于实践,勇于创新,继续运用所学知识创造我们的美好生活。

设计意图:注重过程性评价和结果性评价的有机结合,通过学生自评、同伴互评与教师评价等多元评价方式,从学科价值的感悟、实验结果分析交流以及项目化学习的体会等多维度展开,促进学生真实、有效、深度地学习。

四、项目化学习实反思

1. 以学生为中心,实现深度学习

本文的项目化学习以学生为中心,指向“学习”的发生,指向学生在“项目”中的生长。结合学生的认知发展特点,本项目化学习在我校高一校本选修课程中开展,2课时完成。学生通过小组合作、实验探究以及讨论交流等方式完成项目任务,促进了学生学习方式的转变,培养了创新精神和实践能力。在真实有意义的项目化学习中,学生主动地学习不同学科知识,使学习在解决问题的过程中真正发生,能够真正地实现深度学习。

2. 以化学学科知识为载体,发展化学学科核心素养

本文的项目化学习以化学学科知识为载体,将学科知识与真实问题解决相整合,体现学科价值,促进学生化学学科核心素养的发展,以适应现代生活和未来发展的需要。在项目化学习过程中,学生认识咖啡因的结构、物理性质以及沉淀反应等,理解相关的方法、原理,建构化学思想观念——从定性定量相结合的视角分析与解决实际问题,逐步掌握科学探究的过程与方法,发展证据推理和科学探究能力,培养社会责任感,提升公民意识。^[8]

3. 以STEM跨学科整合为支撑,培养跨学科素养

本文的项目化学习借助STEM跨学科整合加以实现,培养学生的跨学科素养。例如探索科学原理方法,理解学科的核心概念和关键原理;应用现代仪器分析技术,提升技术应用素养;形成工程思维——先明确项目,再设计探究方案,最后实验探究测定咖啡因含量;运用数学方法与思想,提高分析问题能力。学生深入体验综合运用科学、技术、工程和数学等领域的知识与技能解决真实问题,促进创新能力、综合解决问题能力的发展。

参考文献

- [1] 中华人民共和国教育部. 普通高中化学课程标准(2017年版2020年修订)[S]. 北京:人民教育出版社,2020.

(下转第65页)

化学教与学2023年第8期



重点内容整合后解决新情境问题,引导学生在问题解决中完成对原有知识的整合和结构化,并进行迁移应用。从学生构建的思维导图可以看出,学生对知识有了一个系统建构,不仅对乙醇这种物质有了全面的认识,也能深刻认识到化学变化是研究物质的组成、结构、性质和用途的手段,认识到化学变化伴随物质和能量的变化,学会用化学方程式准确表达化学变化。

2. 促进学生深度思考,逐步感悟核心概念内涵

聚焦核心概念建构的单元复习教学,可通过环环相扣的问题链,自始至终引导学生不断思考、深度学习。深度学习的化学教学实践,强调从具体化学知识的教学转变为化学学科思想方法的教学,^[7,8]利于核心概念的建构。本节课通过对固体酒精制作的体验、固体酒精燃烧的现象观察、固体酒精燃烧后的产物分析,学生调动了分析判断、创造性思维以及反省认知等复杂的思维;用燃烧法测定乙醇的元素组成,从计算元素的质量过渡到计算原子的个数比,然后进入乙醇分子结构的微观探讨,加深了学生对化学变化中“变”与“恒”的理解,渗透了计量观、微粒观、变化观和守恒观。再如,讨论餐桌燃料选择需考虑的因素、燃料燃烧不充分带来的危害以及如何调控使其充分燃烧等问题,学生树立了绿色化学的学科思想,了解了化学对环境保护的贡献,体悟了化学变化的独特魅力及价值。

3. 探究深入化,引领学生学会建构和应用核心概念 聚焦核心概念建构的单元复习教学,强调从对核

心知识的浅显认识转向理解化学学科本质。^[6]本节课设计了“探究乙醇的性质和变化”“理解乙醇的组成和结构”“感悟乙醇的用途和制法”三个学习环节,在物质的构成与组成、物质的变化与性质、物质的用途与制取等知识间进行整体性联通,促进学生系统认识化学变化,建构化学变化的核心概念内涵,学会利用这些观念性认识解决新问题,建立研究一类物质的基本方法,体现了复习课的价值与功能,更好地服务于学生核心素养的培养。

参考文献

- [1] 余晨曦,周文荣.基于观念建构的复习课教学设计——以初中化学“认识化学变化”复习课为例[J].化学教与学,2022(4):38-42.
- [2] 王宝斌.基于证据推理与模型认知的“认识化学变化”复习课[J].中学化学教学参考,2021(19):57-59.
- [3] 何春霞.学科观念为本的复习课教学设计策略——以沪教版“认识化学变化”的复习为例[J].化学教与学,2020(10):46-49.
- [4] 吴永军.关于深度学习的再认识[J].课程、教材、教法,2019,39(2):51-58+36.
- [5] 胡久华.以深度学习促核心素养发展的化学教学[J].基础教育课程,2019(Z1):70-78.
- [6] 胡久华,罗滨,陈颖.指向“深度学习”的化学教学实践改进[J].课程、教材、教法,2017,37(3):90-96.
- [7] 陈美钗,吴新建,张贤金.“金属和金属材料”单元核心概念建构及备课研究[J].化学教学,2019(11):34-38.
- [8] 黄清辉,张贤金,吴新建.化学课堂促进学生深度学习的实践与探索[J].教学与管理,2018(10):66-68.

(上接第12页)

- [2] Robert M. Capraro. 王雪华译.基于项目的STEM学习[M].上海:上海科技教育出版社,2015.
- [3] 邹正.把“STEM+”理念融入全课程[J].人民教育,2017(1):60-63.
- [4] 展惠英.紫外分光光度法测定饮品中咖啡因的含量[J].甘肃联合大学学报(自然科学版),2013(4):51-53.
- [5] 杨捷,宋继梅,方芳.红外光谱法测定咖啡因的含量[J].

安徽大学学报(自然科学版),2009(1):85-89.

- [6] 宁丽峰,王慧萍,何轩等.高效液相色谱法测定饮料中咖啡因的含量[J].中国卫生检验杂志,2009(3):560-562.
- [7] 王乐,贾宗平,赵文成等.咖啡因检测方法研究进展[J].云南警官学院学报,2019(1):19-27.
- [8] 朱征.在科技创新教育中厚植家国情怀[J].人民教育,2021(20):53-55.