

## 黏度测定服务于厨余垃圾处理设备运行条件优化的实验教学设计

孙立森, 郝永梅, 黄镇, 刘永梅\*

复旦大学化学系, 上海 200433

**摘要:** 厨余垃圾的不当处置会造成土地和水资源的污染, 随着垃圾分类政策在全国的推行, 有效处理厨余垃圾成为解决环境问题的热点议题。厨余垃圾黏度的大小可直接影响处理设备的选型和工艺参数确定。将厨余垃圾的黏度测定作为实际应用案例引入物理化学实验教学, 结合实际改进实验, 对不同组成厨余垃圾的黏度值进行测量, 考察含固率、转子型号、搅拌速度选择等对黏度值的影响, 为厨余垃圾处理设备选型及工艺参数选择提供理论依据。改进后的实验可以强化学生学以致用意识, 增强对工程问题的综合性和复杂性的认识, 启迪学生对厨余垃圾资源化利用的探索思考, 实现基于“双碳”和绿色环保的创新思维学科素养培养, 增强社会责任感。

**关键词:** 厨余垃圾; 黏度测定; 含固率

**中图分类号:** G64; O6

## Experimental Teaching Design for Viscosity Measurement Serves the Optimization of Operating Conditions for Kitchen Waste Treatment Equipment

Lisen Sun, Yongmei Hao, Zhen Huang, Yongmei Liu \*

Department of Chemistry, Fudan University, Shanghai 200433, China.

**Abstract:** Improper disposal of food waste results in pollution of land and water. The efficient treatment of kitchen waste has gradually become a hot topic due to the garbage classification policy. During the process of disposal and transportation of kitchen waste, viscosity is a considerable and necessary factor. It may directly affect the model selection of key equipment and the determination of technological parameters. The study on determination of viscosity of kitchen waste is introduced into physical chemistry experiment as a practical application case. Combining with the engineering practice, the viscosity of kitchen wastes with different composition, different solid content and stirrer speeds were investigated. The results and influencing factors were analyzed. We aim to provide some theoretical basis and suggestion for the model selection of equipment and the parameters of the engineering design of kitchen waste an aerobic digestion. The improved experiment can enhance students' awareness of applying what they have learned in real application, enhance their understanding of the comprehensiveness and complexity of engineering problems. In this process, inspire the students to think about the most efficient treatment of kitchen waste as a potential resource utilization, cultivate students' innovate disciplinary literacy based on carbon peak and green environmental protection, and strengthen social responsibility.

**Key Words:** Kitchen waste; Determination of viscosity; Solid content

### 1 引言

非牛顿型流体流变曲线的绘制是一个经典的物理化学实验<sup>[1,2]</sup>。黏度是重要的流体热物理性质,

收稿: 2023-07-20; 录用: 2023-08-01; 网络发表: 2023-08-16

\*通讯作者, Email: ymliu@fudan.edu.cn

基金资助: 基础学科拔尖学生培养试验计划 2.0 2022 年研究课题

是涉及流体流动、传热和传质等科学研究和能源化工等领域相关装备研发和工艺流程优化的重要基础数据,对实际生产及产品质量控制具有重要意义<sup>[3,4]</sup>。该实验涉及的仪器设备简单,但样品组成、测试条件的选择较复杂,对培养学生综合思维能力、实事求是的科学态度、善于思考的开拓精神具有重要意义。已有的非牛顿流体流变性及黏度的测量研究包括顺丁橡胶运动黏度测定新技术、碳纤维行业实验室和在线黏度测量技术及实例分析、阳离子淀粉糊液黏度测定影响因素探究、丙烯酰胺-丙烯酸盐共聚物的合成及黏度保留值测定、基于多元统计分析的药用辅料聚乙二醇6000质量控制方法研究等<sup>[5-9]</sup>,它们均是基于解决不同行业领域中的问题开展的研究,而样品的黏度会关系到产品品质控制或生产设备的选择。相关应用与国计民生、安全和资源回收利用等国家战略对接。课堂教学中主动将黏度测量与实际生产应用结合,可以训练学生应用所学专业知识和技能指导实际生产、解决复杂问题的能力,同时能够增强其专业自豪感,与课程思政建设目标高度统一。

本案例以黏度测量服务于厨余垃圾厌氧处理中相关设备选型以及设备运行条件优化为例,将黏度测定与厨余垃圾厌氧处理工程的设备选型、低能耗优化运行和解决厨余垃圾废弃物危害相衔接,引导学生认识综合利用厨余垃圾对服务资源回收利用、环境保护和“双碳”战略的重要意义<sup>[10-12]</sup>,不仅可以提高学生的学习兴趣,还可以引导学生关心国计民生、环境治理、可持续发展和人民的生命健康。改革后的实验综合体现了大学教学“面向绿色可持续发展”“面向人民生命健康”的要求,增强了学生运用所学专业知识和技能服务社会发展战略的自觉性和主动性。

## 2 课程思政案例的设计与实施

### 2.1 案例的导入

随着经济社会的不断发展,城市规模扩大,人口数量增多,居民生活垃圾的产生量以每年10%~15%的速度增长。根据国家统计局数据,2020年我国厨余垃圾运输总量高达1.3亿吨<sup>[13]</sup>。因厨余垃圾含水量高、富含有机物,导致其易腐败产生恶臭,滋生病菌,对生态环境和人民健康产生不利影响。因此,做好厨余垃圾的回收处理工作,具有十分重要的意义。

厨余垃圾量大、成分复杂、处理成本高且易造成二次污染,其大规模处理仍面临着诸多挑战。目前,已开发的厨余垃圾处理的方法主要包括填埋、焚烧、堆肥;新兴处理方式主要包括破碎直排、生产饲料、厌氧消化等。其中厌氧消化可生产合成气、甲烷、生物柴油、乙醇、丁醇等醇类物质及乳酸、乙酸等有机酸产品<sup>[14-16]</sup>等,可以实现能源和资源的回收利用,是附加值最高的处理方法,受到人们的关注。对比各种处理方式的优缺点,高固态厌氧消化(含固率 > 15%)所需的反应器体积更小、耗能少、单位底物产气量更高等优势而被广泛采用。20世纪80年代,高含固厌氧消化技术在欧洲已经较为成熟并开始市场化的运用。目前我国尚无成熟的针对高含固厨余垃圾处理的厌氧消化技术,有城市试点引进该类技术,如杭州天子岭的厨余垃圾生化产沼处置项目即引进了此工艺,2018年度日均处理厨余垃圾190吨,平均日产沼气15383 m<sup>3</sup><sup>[17]</sup>。按照相关文献估算,我国应该有50吨/天规模以上餐厨垃圾处理项目有118座,这些处理设施中有76.1%采用厌氧消化技术<sup>[18]</sup>,但能处理的厨余垃圾约为总量的~8%<sup>[19]</sup>,距真正的将厨余垃圾资源化利用,还有很大差距。且大多厌氧消化反应器中无搅拌,其传质效率较低,反应器内部易存在死区,使得有机物质分布不均,与微生物不能充分接触,影响微生物活性,不利于产气。有研究表明,通过探究不同温度与不同剪切速率下反应器内厨余垃圾的流变特性和行为,确定黏度与剪切速率、温度、含固率与发酵时间的变化关系,可以有效指导搅拌类型、搅拌方式等消化反应器类型及运行条件的选择<sup>[11,18]</sup>,以达到最佳物料混合时间并保证反应器内传热传质均一,对低成本优化设计、控制和运行具有重要的指导意义。

### 2.2 案例的研讨

学生以小组为单位,通过实验平台提供的线上教学资源并自主查阅资料,了解厨余垃圾处理及利用的途径及其优劣势,了解厨余垃圾厌氧处理对设备的要求,了解不同测量对象的黏度及其流变性的测量要求,说明测定黏度对指导安全生产的意义。说明实现对厨余垃圾的资源化利用需要进行

哪些预处理并解释其原因。

学生通过超星在线课程学习网站,针对预先设计的问题发表观点并形成预习报告。在实验课前,教师引导学生就相关问题进行交流,教师进行点评和启发,加深学生对旋转黏度的意义和测量原理的理解。

### 2.3 实验的创新设计

为了保证实验的顺利开展,需要对传统的非牛顿流体流变曲线实验进行改造,重点完成样品组成、含固率、黏度计转子、温度等条件下样品黏度的测量,如表1所示。并在教师的指导下提前完成样品预处理,并根据选择完成样品黏度的测量。

表1 不同条件下样品黏度测定

样品主成分	含固率	转子型号	旋转速度/(r·min <sup>-1</sup> )	温度/°C	组别
淀粉类	5%~30%	1~4	6, 12, 30, 60	35, 55	第一组
蔬菜类	30%~70%				第二组
蛋白类	20%~70%				第三组
淀粉蔬菜混合类	15%~50%				第四组

为了获取不同组分、含固率对黏度的影响,实验前可向学校餐厅索取富含淀粉的面条米饭类、富含纤维的蔬菜类、富含蛋白质的鱼类肉类厨余垃圾,指导学生选取一类或者几类,分别称取一定质量物品(作为含固率计算基准),转移到九阳豆浆机的粉碎盒中,并根据含固率需求加入一定质量的水,高速打浆,然后转移到旋转黏度计的样品槽中,选用不同型号转子、不同转速、不同温度,开启测定,等仪器数显屏幕上显示出稳定的黏度值时(几分钟内),记录数据停止测量,更换样品或者调变测试条件,进行相应的黏度测量。实验结果表明,当样品中淀粉类物质含量较高时黏度值大、流动性差,需要更大转速,才能测得合理相对黏度值,这也意味着对该类垃圾的厌氧处理需要选择选用垂直流型反应器,并选用搅拌桨尺寸大、更高转速的机械型搅拌,才能达到更好的传质传热效果。而纤维素类含量较高的物质,相同打浆条件下、含固率相同时,黏度值较小、流动性好,处理过程中可选择水平或者垂直流型反应器,转速可以选择较小速度进行搅拌,适当降低能耗。而实验过程中,发现较高温度下,各类不同组分的物质,黏度均有降低,这就意味着较高温度下的厌氧处理过程中,可选择较低的搅拌速度。

### 2.4 案例的实施

学生依托超星在线课程平台所提供的实验教学资源,通过自主学习,掌握旋转黏度计的工作原理和操作过程,明确不同测量目标选用黏度计的原则,明确实验的关键点和安全注意事项,并通过线上测试和教师审核,以保证学生能够规范操作仪器设备,安全顺利地完成任务。该过程可以培养学生的自主学习能力,提高实验教学效率,增强实验教学效果。

在实验开始前,安排1~2名学生交流实验的注意事项,将实验讲解的主体由教师变成学生,其他学生进行点评和补充,可以增强学生的学习效果。建议采用团队实验和多参数实验设置。开展对不同组成、不同条件下的黏度测量。教师可以安排各组学生采用不同的样品进行平行实验,如不同组分的厨余垃圾、不同处理条件等。在各自独立完成测量的基础上,同组学生共享数据,从而达到研究相关参数对黏度影响的目的,增强基础实验的研究属性。通过团队实验,还可以培养学生的团队合作意识和组织协调能力。

在实验过程中,学生们按照新理念、新要求完成实验,突出规范操作、实事求是、安全环保等要求。教师在巡查过程中,对学生的操作进行指导,并对学生操作的科学性和规范性进行评价。实验结束后,安排各实验组进行交流研讨,分析实验结果,共同处理数据,得出结论。

## 2.5 课后拓展

课后, 学生正确记录和处理实验数据, 分析实验误差, 得出确切结论, 并对不同样品的表观黏度进行比较, 对样品后续处理设备的参数提出合理建议并提交实验报告。教师批阅实验报告, 对学生的实验态度、实验过程、实验结果中所体现的实验能力进行评价。在通过实验加深学生对案例思政内涵理解的基础上, 进一步通过布置作业等形式, 安排学生以小组为单位完成以下拓展内容:

(1) 将黏度测量原理拓展到高聚物生产、药物辅料的筛选、皮革处理、火箭燃油预处理温度选择、发动机油性能评价等实际生产中, 说明不同黏度测量技术及其应用, 构建黏度测量原理与技术的知识体系, 分析影响这些测量方法精度的因素, 比较它们各自的优缺点和适用范围, 培养学生对实验原理举一反三的能力。

(2) 说明黏度测定对厨余垃圾处理设备选择、有效运行、安全环保以及测量黏度对设备类型选择及优化能耗比和经济效益的意义, 促使学生加深对黏度测量重要性的认识。

(3) 结合实验, 说明测定黏度对厨余垃圾资源化利用的重要意义。通过查阅文献, 评价如果将数以亿吨的厨余垃圾全部资源化利用, 可以回收多少资源, 减少多少吨二氧化碳排放。进一步说明厨余垃圾资源化利用对开发可再生能源、保护环境、服务“双碳”战略的重要意义。加深学生对厨余垃圾有效利用的生态意义和对资源利用、可持续发展意义的认识。

(4) 通过查阅文献, 说明我国厨余垃圾处理的方式和运行情况, 对当前存在的问题和未来改进的方向进行综合分析和批判性思考, 促进学生了解国情民情, 强化责任意识和担当精神。

## 3 实施建议与效果考核

教师通过对线上讨论、预习报告、实验报告、小组作业(包括调研报告或者论文)等形式所体现的素质和能力进行考核, 制订相关评价标准, 按照产出导向的理念, 安排多环节考核, 对课程思政教育目标的达成情况进行判断。

结果显示, 对非牛顿流体流变性曲线绘制实验进行课程思政改造之后, 学生对物理化学实验重要性的认识得到强化, 实验兴趣和认真程度得到提升, 对知识点和规范操作的理解更加深刻, 社会责任感和科研意识也得到了显著增强。在实验改革的过程中, 教师应注意做好以下几方面工作:

(1) 应提前预做实验, 确定比较适宜的实验条件, 保证学生能够比较顺利地顺利完成相关实验操作。

(2) 设计不同组分、不同含固率的样品进行实验, 引导学生研究影响黏度性能的因素: 可以安排不同周次实验的学生研究厨余垃圾组成、含固率的影响, 获得上述因素对黏度影响规律。

(3) 该实验案例, 也可应用到高分子合成应用、沥青、涂料、油漆等领域。

## 4 结语

本实验课程思政案例以提高厨余垃圾资源化利用效率为出发点, 对经典物理化学实验——非牛顿流体流变性测试进行了改进, 将实验内容与服务垃圾回收处理、环境保护和“双碳”战略、关心资源循环利用、可持续发展和人民生命健康, 领悟习近平生态文明思想, 与“面向国家社会需求、面向人民生命健康”的要求紧密衔接, 是一个具有实际应用价值的课程思政教育案例, 具有较好的推广应用价值。

## 参 考 文 献

- [1] 张树永, 范楼珍, 淳远, 刘永梅, 田福平, 白云山, 宋淑娥. 大学化学, 2022, 37 (6), 2108061.
- [2] 复旦大学. 物理化学实验. 第3版. 北京: 高等教育出版社, 2004.
- [3] 徐杭东, 麦云飞, 农业装备与车辆工程, 2018, 56 (10), 80.
- [4] 李臣宾, 彭明婷, 苏炳男, 周文宾, 陆红, 谷小林, 施丽飞. 现代检验医学杂志, 2010, 25 (6), 153.

- [5] 王宏伟. 化工管理, **2015**, No. 3, 61.
- [6] 何丽萍, 贺均林. 化工与材料, **2010**, No. 5, 10.
- [7] 丁晓炯. 分析研究, **2021**, No. 4, 56.
- [8] 李艳梅. 清洗世界, **2019**, 35 (1), 54.
- [9] 熊皓舒, 张凯旋, 李瑶瑶, 赵万顺, 章顺楠, 朱永宏, 闫凯境. 药物分析杂志, **2021**, *41* (2), 329.
- [10] 廖利, 张如月, 廖筱锋. 工业安全与环保, **2023**, *49* (1), 102.
- [11] 向闯. 垂直流厌氧消化处理厨余垃圾时物料流变与传热特性[硕士学位论文]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2020.
- [12] 杨娜, 张晓琴, 吕凡, 余波平, 金兴良, 戴知广, 邵立明, 何晶晶. 生态经济, **2023**, *39* (1), 206.
- [13] Li, Y.; Jin, Y.; Borrion, A. Li, H. *Bioresour. Technol.* **2019**, *273*, 654.
- [14] 汤韵涵, 刘岩松, 高豪, 章文明, 蒋羽佳, 信丰学, 姜岷. 生物加工过程, **2023**, *21* (2), 153.
- [15] 刘雪松, 沈骏, 刘雪莲. 现代化工, **2023**, No. 4, 23.
- [16] Zheng, C.; Ma, X.; Yao, Z.; Chen, X. *Bioresour. Technol.* **2019**, *285*, 121347.
- [17] 安晓霞, 金文涛. 绿色科技, **2019**, *4* (8), 125.
- [18] 周慧敏. 水平流厌氧消化系统处理高含固厨余垃圾的效能与机制[硕士学位论文]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2020.
- [19] 吕凡, 章骅, 邵立明, 何晶晶. 环境卫生工程, **2017**, *25* (1), 1.