

# 影响Maillard反应初始阶段因素实验教学探讨

✦ 文 | 宋越冬 山东理工大学农业工程与食品科学学院

食品化学是食品科学与工程专业课之一，是一门强理论重实验的课程。在山东理工大学（以下称我校）影响Maillard反应初始阶段因素为食品化学新开实验课，课内课时4，本实验的开设旨在巩固学生对Maillard反应原理的掌握，提高综合分析和解决褐变问题的能力，并培养学生初步开展研究性实验的意识。Maillard在其初始阶段，反应进程会受到反应物种类、反应条件等因素影响，从而使得反应产物、产量和进程不同。为了让实验准确地反应实验原理、确保在教学课时内完成教学目标，教师需要对实验方

案做统筹分析、精确设计，最终形成一套科学严谨、安全系数高、符合我校学生学情的教学方法。现就该设计做一总结，以期为工科院校食品科学与工程专业开设本实验提供可借鉴经验。

## 1. 选择具有代表性的反应物 让实验结论全面反映实验原理

Maillard是还原糖和蛋白质和氨基酸之间的反应，反应物不同，反应速度和反应产物不同。因此，反应物要有代表性和全面性，这就要求实验指导老师要充分理解实验原理，选择出

符合科学规律的反应物。对于糖类，采用还原糖，并用非还原糖作为对照；还原糖的结构上要有差异，在多次预备实验基础上最终选择半乳糖、葡萄糖、果糖作为反应物，用非还原蔗糖作对照。氨基酸既要考虑酸性、中性和碱性氨基酸对反应的影响。同时，要考虑到氨基位置的差异；综合多因素后选择赖氨酸、谷氨酸和甘氨酸，分别代表碱性、酸性和中性氨基酸，同时也能验证不同位置的氨基对反应的影响性。实践证明，这样的设计，可以很好地验证反应物对Maillard反应的影响，验证了设计的合理性。



## 2.根据实验室设备情况 设计反应条件

反应体系的酸碱度和温度，对Maillard反应的进程、产物和反应速率都有影响，因此设计合理有效的反应条件，则更能体现科学规律。在反应体系酸碱度方面，设计三种pH值，分别是酸性（ $\text{pH}<3$ ）、中性（ $6<\text{pH}<7.2$ ）和碱性（ $\text{pH}>9$ ）。而反应温度方面分别是室温（ $25^{\circ}\text{C}$ - $30^{\circ}\text{C}$ ）、 $90^{\circ}\text{C}$ 水浴和 $120^{\circ}\text{C}$ 电热恒温箱恒温。该设计方法是在充分考虑实验室现有设备，并易于学生操作的综合前提下得出地。高温可使得Maillard反应加速，较为理想的方法是采用油浴将温度升到烘焙常用温度 $150^{\circ}\text{C}$ ，但因为本科生的实验样本量大，普通油浴锅满足不了实验需求，选择实验室常规设备—电热恒温箱，将温度设定为 $120^{\circ}\text{C}$ 而非 $150^{\circ}\text{C}$ 是考虑到实验安全性问题。上述的实验设计，在实践操作中，学生可以在两课时内完成实验处理，为后续测定预留出必要的时间，使得实验能在教学计划课时内顺利完成。

## 3.设计要有辩证观 构建可行性强并易于操作的实验方案

Maillard反应初期阶段，除了受温度、反应物、酸碱度和反应时间的影响外，还会受抑制剂影响，抑制剂的加入能显著降低Maillard反应速率。实验中采用加入2%的 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 作为抑制剂，但在预实验中却出现，在近紫外区测吸光度时，该处理却比对照吸光度高，这显然违背实验事实。后续研究发现，在实验设定的比色波长区段内 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 具有较高的吸光度，所以在

最终实验方案中，该处理不测近紫外区（ $285\text{nm}$ ）吸光度，只做5-羟甲基糠醛（HMF）含量测定。实验证明，调整后的实验方案，实验结论更加精准，更符合实验事实。

在实验时间阶段设定了三个时长（30、60、90min），在温度处理上采用水浴（ $90^{\circ}\text{C}$ ）和电热恒温箱恒温（ $120^{\circ}\text{C}$ ）处理，实验结束时不同处理间因为蒸发造成最终体积不同，并引起反应体系中物质浓度的差异，所以在实验中增加一个步骤：用蒸馏水补足体积到跟空白相同（12mL）。实践证明，本步骤能有效降低因加热造成实验误差，让实验得出结论能更精准反应Maillard反应的实质。

## 4.设计方案要充分考虑学情 做必要的辅助讲解

教育从来不是一蹴而就的，要遵从循序渐进原则，实验教学也同样如此。在本实验中，HMF是Maillard反应初始阶段的反应产物之一，是反应速率的重要指标，其含量测定方法是利用其跟对氨基甲苯和巴比妥酸在酸性条件下的显色反应，需要用到分光光度计。然而，在本实验时，我校学生没有学过分光光度计的使用。尽管分光光度计工作原理、操作方法不是本实验的教学目标，然而如果不讲解，学生实际操作中会出现诸多原则性错误。因此，在授课时教师对实验步骤做了合理调整，具体为：在学生将样品做处理后（即样品进行加热时），这个时段会有一个等待时间，最短反应时间为30min，利用这个空挡，教师讲解分光光度计工作原理，

具体包括波长选择原理、显色剂用量选择原理，讲解操作规范及操作，让每个学生进行实际操作。实践证明，该方法弥补了学生知识缺陷，并为后续其它相关实验打下较好的操作基础。

## 5.将数据分析方法融合于实验教学中 以培养学生研究问题、分析问题的能力

教育教学是一个系统工程，实验教学不只是让学生了解原理、掌握操作技术，更应该让学生学会实验设计的基础原理、理解并掌握实验数据分析方法，方能得出科学合理的实验结论。这些技能的获得是一个渐变的过程，这就要求实验指导教师在上課时候要因势利导、由简到繁教授给学生。在本实验中，设置了六个因素，每个因素设计三个水平并重复三次，样本量较大。面对近百个实验数据，对于刚读大二的学生而言会感觉无从下手。那么，如何让学生从纷杂的数据中得出正确结论？为了解决这个问题，指导教师将实验步骤讲解时，要强调单因素实验设计原则，在实验报告环节讲解数据处理的一般方法、重复实验数据是否具有可信性以及是否采用原则；在实验过程中，及时查验各组实验数据、指出偏离实验规律的处理、分析误差产生的原因及补救措施，并给学生预留出补测数据的时间。实践证明，这些教学方法的实施，可以有效提高学生分析复杂实验数据的能力，有利于学生养成正确的科学实验观，并为后续其它实验分析数据打下必要的基础。

## 6. 充分利用教学课时 培养学生辩证思维能力 增强学生创新意识

教育从来不是只局限于课堂时间，也从来不是仅为课堂服务，教育的目的是要塑造具有创新人格的学生。因此，教师要利用一切可能的机会培养学生的创新能力，同时有意识地培养学生辩证思维观。具体到本实验，教师在实验操作完成之后的总结阶段，要有意识的引导学生思考Maillard反应跟人类生活与健康关系，指出虽然Maillard反应是烘焙类食品香气的主要来源，但是Maillard反应产物会对人体健康产生危害性即晚期糖基化终末产物（AGEs）及其危害性问题。现有研究证明，AGEs在人体内的积累会加剧人体的氧化应激反应和组织损伤等变化，是导致人体患肾病、心脑血管疾病、糖尿病和神经性疾病等的主要原因之一，特别是对中老年人作用更加明显。教师要充分利用教学课时，让学生了解AGEs对人体危害的严重性，并引导学生思考怎么降低晚期糖基化问题，启发学生从本实验的结论中是否可以找到有效途径？即从烘焙原料、加工方式等方面创出低AGEs的产品：比如，用荞麦等杂粮代替部分面粉、无糖或低糖措施、较低温度、微酸环境等；同时跟学生强调，食品粮油加工车间常年对学生开放，欢迎同学们到实验室开展大学生创新实验。通过这些方法，在加深学生对美拉德反应原理的理解之外，还能增强学生的创新意识，并能提高学生辩证思维能力，为培养学生科研思维打下了必要基础。



## 结语

影响Maillard反应初始阶段因素实验是一个兼具设计性和综合性的实验，其集反应物类型、温度、时间、酸碱度、抑制剂等诸多因素于一体，将设计和综合较好地融合在一起，是一个可以充分调动学生思维能力、动手能力的实验。在本实验中，学生不但掌握了影响Maillard反应的六大因素，了解了紫外分光光度计工作原理、掌握了使用方法，更在实验数据处理阶段初步掌握了科研设计的基本原理；在完成实验教学计划外，本实验还可以让学生根据实验结论，得出抑制Maillard反应的基本方法，从而拓展思维，找到降低AGEs的基本途径，这对提高学生创新创业能力具有较好的促进作用。本实验从原料的选择、

实验环节的构建以及实验数据的处理等方面都做到了合理设计。因此，本实验方法实用性强，具有可推广性，可以提高学生的实验综合操作能力和创新能力，本方法能为工科院校食品专业开设本实验提供可借鉴依据。■

## 基金项目

山东理工大学教学改革项目“影响Maillard反应初始阶段因素”（编号：121176）；教育部产学研合作协同育人项目“以创新能力为导向的食品化学实验教学改革与实践”（编号：2020022120016）。

## 作者简介

宋越冬（1968-），女，高级实验师，硕士；研究方向：天然产物开发与利用。