

姹紫嫣红，与花青素的浪漫邂逅

郭笑汝，于小满，张伊径，卢忠林*

北京师范大学化学学院，北京 100875

摘要：花青素是一类广泛存在于植物中的天然色素，色泽绚丽多彩，并具有多种优良的生理功能。本科普实验采取居家和实验室两种方法提取花青素，使之与不同pH的水溶液和碘伏发生作用，设计出“四季更迭”“一带一路”“花青素写字”等多种展示方案及“Freestyle”创意绘画活动。在展示过程中介绍花青素的化学结构、从红到蓝再到黄的颜色变化和抗氧化性原理，传递化学之美与化学之趣，呈现思政元素，潜移默化。本科普实验原创可爱紫甘蓝形象及趣味动画，生动有趣地介绍花青素的多种功能及应用，更易于接受；并结合生活实际，指出生活中常见的花青素使用误区，帮助社会大众更好地理解和使用花青素。整个科普实验将科学与艺术，知识和育人巧妙结合，同时绿色安全，具有很强的居家可行性和可推广性。

关键词：花青素；酸碱指示剂；抗氧化性；生活化学；课程思政

中图分类号：G64；O6

A Blaze of Colour——Romantic Encounters with Anthocyanin

Xiaoru Guo, Xiaoman Yu, Yijing Zhang, Zhonglin Lu *

College of Chemistry, Beijing Normal University, Beijing 100875, China.

Abstract: Anthocyanin is a kind of natural pigments widely found in plants. It is colorful and has many physiologic functions. In this science popularization experiment, we have extracted anthocyanin from red cabbage both at home and in the lab. By mixing the extracted anthocyanin with aqueous solutions of different pH and iodophor, we have designed three schemes including “The Change of Four Seasons”, “Belt and Road” and “Write with Anthocyanin” respectively, to introduce the structure of anthocyanin, the colour changes of anthocyanin at different pH, and the principle of oxidation resistance. We have also designed a drawing activity called “Freestyle”, in which the audience at different levels can take part in person. From the above mentioned, not only are the beauty and magic of chemistry shown, but also ideological education is concluded. In addition, we have created lovely purple cabbage images and animation to show the functions and applications of anthocyanin in a vivid and interesting way. We have also indicated some common misunderstandings about anthocyanin in daily life and tried to help people use anthocyanin in the proper way. In a word, this science popularization experiment combines science and art, knowledge and education ingeniously. It is also easy and safe enough to be performed at home.

Key Words: Anthocyanin; Acid-base indicator; Oxidation resistance; Problems in real life; Ideological education

1 引言

1947年，二战后的法国物资匮乏，为了解决牲口的饲料问题，法国农业部考虑将花生下脚料利

用起来。可经过“试验”，发现牲畜不喜欢吃这种饲料。当时在波尔多大学做研究的年轻学者Masquelier推断说，牲畜们之所以不喜欢是因为在花生仁的包衣中含有一种味道非常苦涩的“神秘物质”，这种“神秘物质”就是现在人们常说的花青素^[1]。

从“万般红紫斗芳菲”到冰箱中的水果、蔬菜，花青素是一些水果、花卉的主要成色物质。随着时代的发展，人们的健康意识不断加强，花青素的抗肿瘤、抗炎、抗衰老等生理功能得到了广泛关注，在药品、食品、护肤品等领域应用广泛。

本实验中，我们采用居家和实验室两种提取方法提取花青素，在展示互动方案上推陈出新，以花青素在不同pH下的颜色为基础，用一张原创底稿展示四季变换，用透明软管展示“一带一路”的基本路线，充分展示化学之美与化学之趣，同时也赋予了本项目思政育人内涵。此外，我们设计了“Freestyle”创意绘画活动，鼓励大家利用特定pH的溶液或生活中常见的柠檬水、小苏打等自行绘画，切身感受化学之趣。在花青素的抗氧化性验证上，我们以碘伏为材料，用花青素提取液写出无色的“chem is try”，也传递出“化学即尝试”的学科特点。

除了丰富的展示互动方案外，本科普实验也十分重视化学本质的讲解、科学知识的提升。我们设计了可爱的紫甘蓝形象(图1)和相关动画辅助讲解花青素的结构、变色原理、抗氧化性原理和广泛用途，将理论知识生动化、趣味化。对于化学及化学相关专业的大学生，我们以召开座谈会形式探究花青素的抗氧化机制。对于社会大众，我们从生活实际问题出发带来温馨提示，提醒大家正确选择花青素类产品，倡导健康饮食方式等。

通过本科普实验，幼儿及小学生可以感受到化学之美与化学之趣；初高中学生可以了解花青素的来源及功能，更好地理解酸碱指示剂；大学生可以了解花青素的结构、变色机理、抗氧化机制等，提高文献检索、信息整合的能力；社会大众可以正确认识花青素的妙用，在饮食方式上做出改变。



图1 紫甘蓝动画形象

电子版为彩图，下同

2 实验部分

2.1 实验原理

花青素(anthocyanin)，又称花色素，是花色苷(anthocyanins)水解而得的有颜色的苷元。花青素属于生物类黄酮物质，是一类水溶性天然色素，易溶于乙醇。花青素以C6(A环)-C3(C环)-C6(B环)结构为基本骨架，基本结构是2-苯基苯并吡喃阳离子。由于花青素B环上R₁和R₂位置取代基不同，形成各种各样的花青素^[2]。自然界中常见的花青素主要有矢车菊素(cyanidin, Cn)、飞燕草素(delphinidin, Dp)、天竺葵素(pelargonidin, Pg)、矮牵牛素(petunidin, Pt)、芍药素(peonidin, Pn)、锦葵花素(malvidin, Mv) 6类^[3]，如图2所示。

从紫甘蓝中提取到的花青素为矢车菊素^[4]，结构如图3所示。花青素的颜色会随溶液pH改变发生鲜明的变化，是一种天然的酸碱指示剂。这是因为花青素的主要结构在不同pH条件下会发生可逆转化，如图4所示(以矢车菊素为例)。pH < 3时，花青素主要以红色的黄洋盐离子存在。3 < pH < 8时，黄洋盐离子同时向两个方向转变，一是发生去质子化反应，依次生成紫色的中性醌型碱和蓝色的阴离子醌型碱。二是生成无色的醇型假碱。pH > 11时，醌型碱转化为不稳定的二价阴离子形式，呈蓝绿色。pH > 12时，花青素主要以黄色的查尔酮形式存在。由酸至碱，视觉上溶液可呈现红、紫、蓝、

绿、黄多种颜色(图5) [5-7]。

有研究表明花青素的抗氧化性强于维生素E和维生素C。这是因为花青素属于多酚类物质，结构中的多个酚羟基是其强大抗氧化性的基础。与其他多酚类物质不同的是，花青素的C环上缺少一个电子，形成了一个二级氧鎓离子，易于吸引活性氧等自由基的攻击[2,6]。

花青素具有多种生理功能，如抗衰老、防晒、保护视力等，在食品和药品等领域有大量应用[8]。但花青素性质活泼，不稳定，对光、热敏感，结构易被破坏[9]。

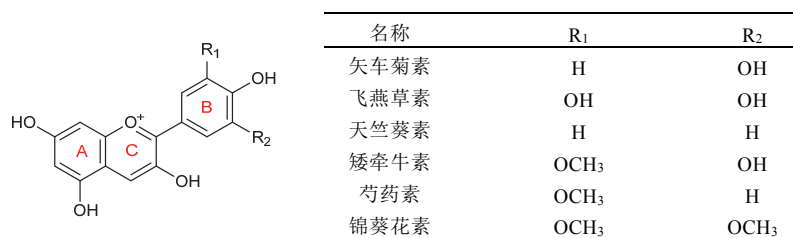


图2 花青素化学结构

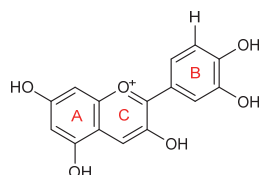


图3 紫甘蓝中花青素化学结构(矢车菊素)

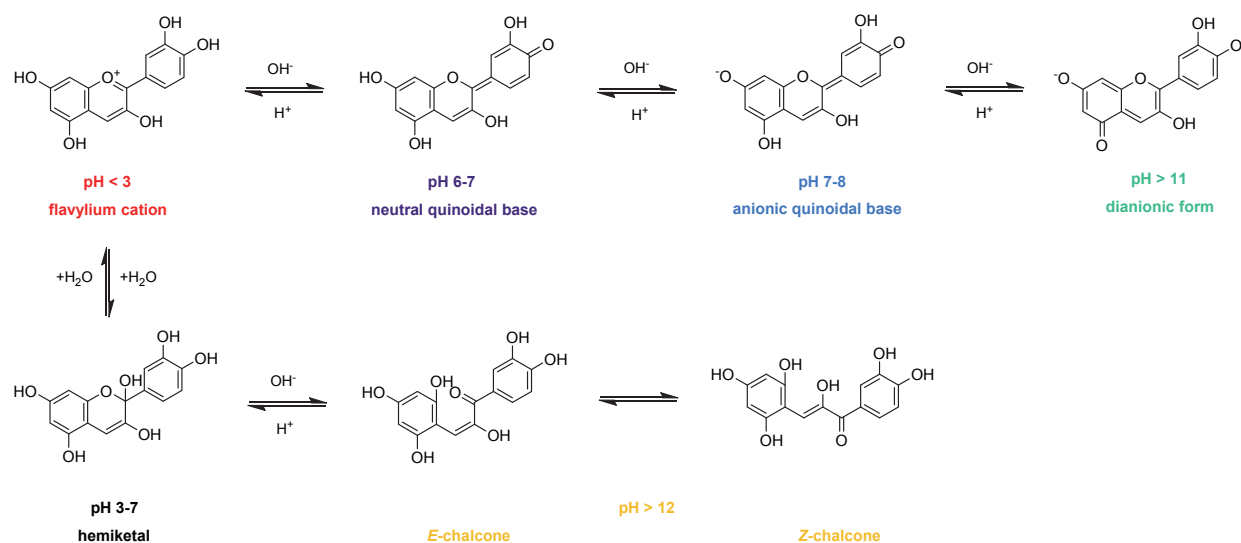


图4 花青素变色原理

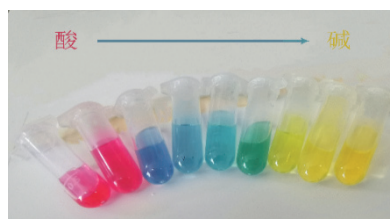


图5 花青素颜色变化

2.2 试剂或材料

毛笔、勾线笔、宣纸从普通文具商店购买, PVC (polyvinyl chloride)透明软管、EPE (expandable polyethylene)珍珠棉泡沫板从淘宝厂家购买, 碘伏从超市购买。

实验所用的试剂详见表1。

表1 实验所用试剂

主要试剂	规格	生产厂家
氢氧化钠	质量分数> 96.0%	北京市通广精细化工公司
盐酸	质量分数36%–38%	北京市通广精细化工公司
无水乙醇	质量分数> 99.7%	北京华腾化工有限公司

2.3 仪器和表征方法

本实验中所涉及的仪器如表2所示。

表2 实验所用仪器

仪器	型号	公司
磁力搅拌器	85-2A型	上海司乐仪器有限公司
电子天平	NV222ZH	奥豪斯仪器(上海)有限公司
旋转蒸发仪	IKA RV 10	北京天林恒泰科技有限公司

2.4 实验步骤/方法/现象

2.4.1 花青素提取液的制备(以紫甘蓝为材料)

(1) 居家提取。

居家提取花青素的具体步骤如图6所示。将紫甘蓝洗净、晾干、剪碎, 倒入预先准备好的热水, 不断搅拌, 适当碾压。溶液变深蓝色后静置, 让紫甘蓝沉降到下层。用纱布过滤, 倒出上层清液, 得到花青素粗提取液^[10]。

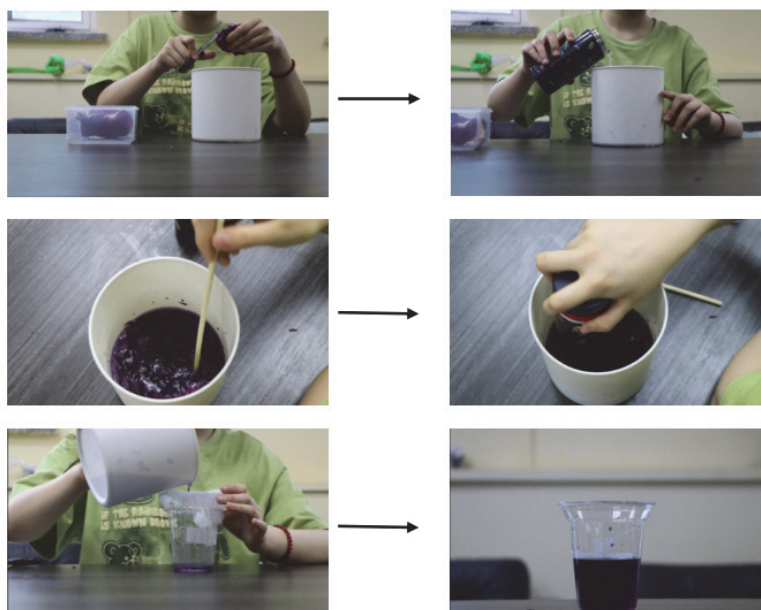


图6 居家提取花青素步骤

(2) 实验室提取。

实验时提取花青素的具体步骤如图7所示。将紫甘蓝洗净、晾干、切碎，然后称取紫甘蓝15.00 g放入250 mL圆底烧瓶中，加入75.0 mL的无水乙醇作为提取剂，放入磁子，从下至上搭好反应装置，打开磁力搅拌器，将磁子调节到至合适转速。准备65 °C热水^[11]，水浴加热搅拌50 min，加热期间通过补加热水使其温度维持在65 °C。反应结束后，依次拆除装置，将旋蒸瓶中的溶液用塞有棉花的漏斗进行过滤。得到的粗提取液用旋转蒸发仪旋蒸浓缩后冷却，得到纯度较高的花青素提取液。

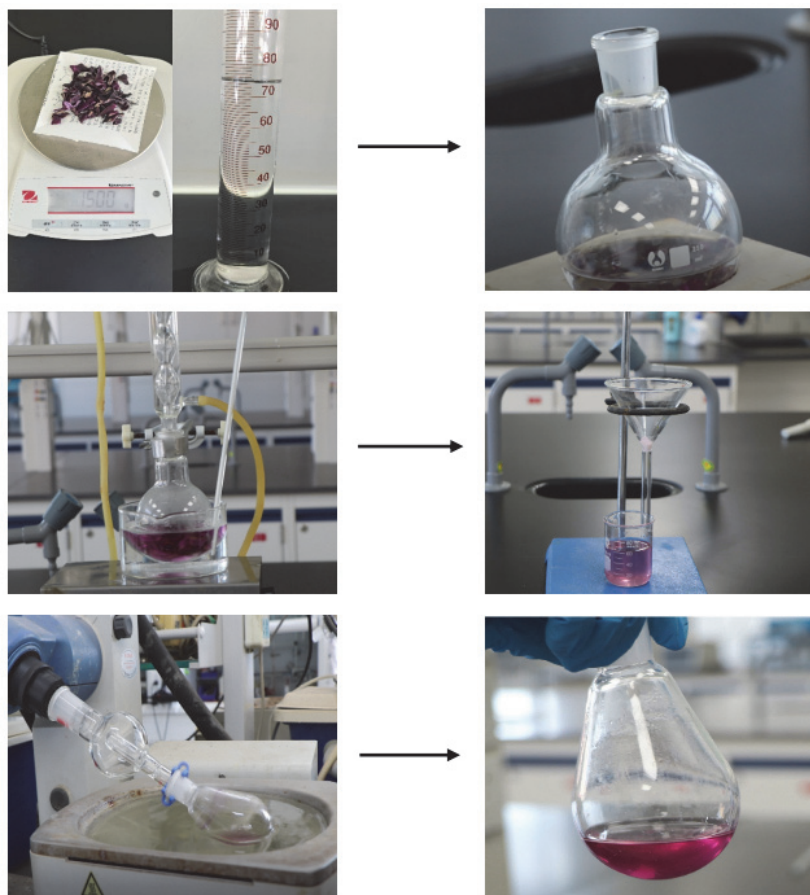


图7 实验室提取花青素步骤

2.4.2 梯度酸碱溶液的配制

用电子天平称取2.00 g的NaOH粉末倒入锥形瓶中，再用量筒量取50.0 mL蒸馏水，固体溶解后得到pH = 14的NaOH溶液。用量筒移取5.0 mL的pH = 14的NaOH溶液于另一50 mL的锥形瓶中，再用量筒量取45.0 mL蒸馏水，配制出pH = 13的NaOH溶液。按照此方法可再依次配制出pH = 8–12的NaOH溶液；用浓盐酸为试剂，逐渐稀释配制出pH = 1–6的盐酸溶液；取50.0 mL的去离子水于烧杯中，即为pH = 7的溶液。

3 科普展示和互动方案

3.1 科普地点及对象

本科普实验对展示地点要求低。宽敞室内场所，如教室等；室外场所，如广场、操场等均可作为展示地点。

根据参与者知识水平、年龄层次及科普期望达到的效果，我们将对象划分为四个年龄段——幼

儿及小学生、初高中学生、大学生、社会大众，梯度科普，力求科普效果最大化。

3.2 科普内容

3.2.1 幼儿及小学生

此阶段人群对化学知识了解甚少，我们可以通过演示花青素在不同酸碱下漂亮的颜色变化来展示化学之美；通过创意绘画活动让他们亲身感受化学之趣，激起他们对化学的兴趣与探索。

3.2.2 初高中学生及非化学专业大学生

此类学生已经具备一定的化学学科知识，并具有较强的知识接受能力。基于此，我们将介绍生活中常见的富含花青素的蔬果及花青素的功能，引导他们完成花青素的提取和生活中常见物质的酸碱性检验，加深学生对于酸碱指示剂和酸碱性的理解，带领学生走出课本知识带来的指示剂只有酚酞、石蕊、甲基橙的局限认识，拓展知识面。

3.2.3 化学及化学相关专业大学生

此类学生具有足够的化学知识基础。我们将详细介绍花青素的结构、变色原理及多种功能，并召开座谈会共同探究花青素的抗氧化机制，提高大家文献检索、信息整合的能力。

3.2.4 社会大众

除介绍花青素的广泛用途，我们还会从生活实际出发给出一些温馨提示，帮助大众区分花青素与原花青素，提醒大众在用黑枸杞等泡水喝时注意水温，并倡导健康饮食方式。

3.3 展示方案

3.3.1 花青素提取液用于展示四季更迭

根据花青素在不同pH下的颜色变化及春夏秋冬本身的色彩特征，通过在宣纸上依次涂刷花青素和不同pH的溶液，用一张底稿完成四季更迭变化，如图8所示。冬天的蓝色是依次涂刷花青素、pH = 1的盐酸溶液和pH = 13的NaOH溶液；春天的粉色是在冬天的基础上继续涂刷pH = 1的盐酸溶液；夏天的绿色是在春天的基础上涂刷pH = 13的NaOH溶液；秋的绿色是在夏天的基础上涂刷pH = 14的NaOH溶液。用一张底稿带来动态颜色变化，可以让参与者更好地理解酸碱指示剂的作用机理，即酸碱条件改变，结构可逆转化，最终体现为颜色改变。由冬开始四季变换，也传递出“冬已逝，春夏复始，秋将至，一切困难都会过去”的美好祝愿。

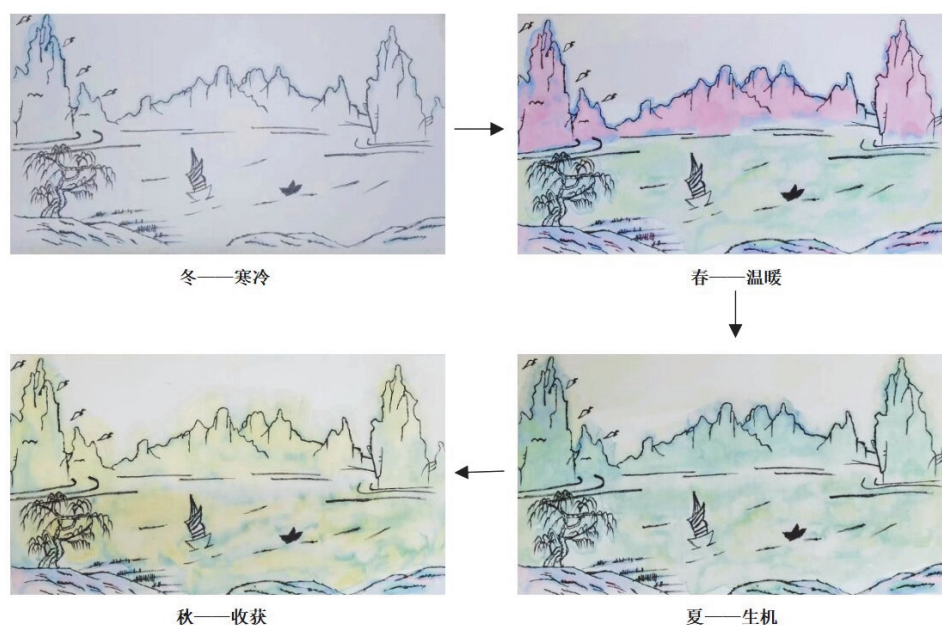


图8 花青素提取液用于展示四季更迭

3.3.2 花青素提取液用于展示“一带一路”

先用透明PVC软管复刻“一带一路”路线图，再分别向四只管中充入自来水和pH=1、13、14的溶液，此时四条管都是无色。接着分别用注射器向四只管中注射花青素溶液，利用花青素在pH=1(红)、pH=13(绿)、pH=14(黄)的溶液中以及花青素溶液本身的颜色(紫)，制作出四条彩带。最终，将四条彩带与地图结合，贯穿亚欧非大陆，“一带一路”跃然纸上，具体效果如图9所示。



图9 花青素提取液用于展示“一带一路”

3.3.3 花青素抗氧化性验证

首先在纸上涂刷碘伏，出现蓝色。后用毛笔蘸取花青素写字，花青素将碘还原，可以看到写字的位置蓝色消失，显现出无色的“chem is try”。花青素的抗氧化性得到验证，也传达出“化学即尝试”的学科特点(如图10)。

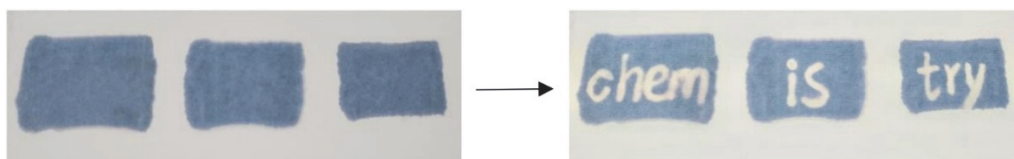


图10 花青素抗氧化性验证

3.4 互动方案

3.4.1 “Freestyle”创意绘画活动——学生群体

在绘画活动现场，我们会提供紫甘蓝，pH=1、13、14的溶液和生活中常见的柠檬汁、白醋、小苏打等。参与者可以亲自提取花青素，并借助不同原料创意绘画。可以先涂刷花青素，以花青素在不同溶液中的颜色为基础，通过不同比例混合原料调节颜色变化，创造出色彩斑斓的作品。通过用花青素作画这项活动，不仅可以充分发挥参与者的想象力和创造力，同时也可展现化学与艺术的奇妙碰撞。图11为活动现场图片及部分创意绘画作品。



图11 “Freestyle”创意绘画现场及部分作品展示

3.4.2 动画“微瑞新闻”观看——学生群体

本科普实验原创“微瑞新闻”，采用卡通动画新闻播报的形式，在新闻中设置场景巧妙融入对花青素防晒、保护视力等功能介绍，图12为部分动画画面截图。同时，科普员会辅助讲解花青素抗炎杀菌、抗肿瘤等多种功能和背后的简单机理。生动有趣，易于接受。



图12 “微瑞新闻”动画截图

3.4.3 “花青素抗氧化机制”座谈会——化学及化学相关专业大学生

对于化学及化学相关专业的大学生来说，自主查找文献、整合各类信息是一项必备技能。我们在科普外场结束一周后召开座谈会，共同探究花青素的抗氧化机制，主要包括四方面，分别为减少活性氧积累和清除自由基、激活酶抗氧化系统、减少DNA损失、与金属离子发生作用等^[2]。图13为本次座谈会合影。



图13 线上座谈会合影

3.4.4 温馨提示——社会大众

(1) 区分花青素与原花青素。

花青素主要来源于植物的花朵、叶子和果实，含有花青素的果蔬包括蓝莓、葡萄、茄子等；原花青素在植物核、皮、籽中广泛存在，常见包括松树皮、葡萄籽、肉桂皮等。因此，通过日常食物可以直接获取花青素，而原花青素很难直接从日常的饮食中摄入、需要依靠相关补充剂。原花青素是由不同数量的儿茶素(catechin)或表儿茶素(epicatechin)聚合而成。按聚合度的大小，通常将二至五聚体称为低聚原花青素(简称OPC)，将五聚体以上的称为高聚原花青素(简称PPC)^[12]。其中低聚原花青素更容易被人体吸收，抗氧化性能突出。所以，我们在购买相关产品时要注意包装上有没有OPC的字样。

(2) 倡导健康饮食方式。

正是看到了花青素在保健方面的作用和人们对美丽和长寿的向往，各类花青素产品涌现市场。

其实就像吃钙片的补钙效果永远比不上喝牛奶来得好一样,天然的营养物质在经过浓缩和提纯之后,与之相辅相成,相互促进的其他营养物质也同时被除去,所以很难达到预期的效果。因此,与其一味地追求各种提取营养素的补充,不如尽可能通过日常食物和水果来直接获取,不要完全迷信和依赖花青素营养品的功能。

(3) 展示花青素在高温下的不稳定性。

如图14所示,我们分别用100 °C和50 °C的水泡黑枸杞,可以看到100 °C下的溶液颜色随着时间推移变淡得更多,甚至变得偏红。这说明花青素在高温下不稳定,结构会被破坏^[13],无法发挥原有功效。借此提醒大家在生活中用黑枸杞、桑葚干等富含花青素的物质泡水喝时,注意水温尽量不要高于60 °C,尤其不要用开水。

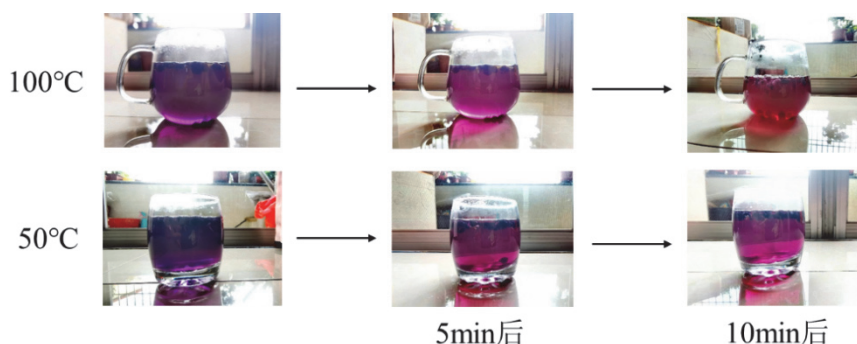


图14 花青素不稳定性展示实验

4 结语

本科普实验中绝大部分原料是生活中的常见物质,且实验中所用化学药品均为无毒或低毒常见试剂,符合科普实验绿色、安全、价廉的要求。同时,本科普实验展示互动方案推陈出新,将花青素与四季更迭、一带一路创新性结合,让观看者感受化学之美的同时更好地理解酸碱指示剂,同时具有思政育人内涵。“Freestyle”创意绘画活动可以让参与者亲身体验,更加直观感受化学的神奇魅力。除此之外,本科普实验深挖化学原理,介绍花青素的生理功能,关注生活中的实际问题,指出花青素产品在日常使用中常见的误区,在充分展示化学之美与化学之趣的同时,赋予了本科普项目丰富的科学内涵。

总的来说,本科普实验兼具科学性、趣味性、实用性,操作简便,大众参与度高,适用面广,是化学科普的优选项目。

5 特点/特色/创新性声明

本科普项目相比于网络上常见的花青素科普实验,具有以下创新点:

- (1) 可行性好、观赏性强、参与度高,兼具科学性、趣味性、实用性。
- (2) 深挖实验原理,化学内容丰富,梯度科普,寓教于乐。
- (3) 展示方案与一带一路相结合,思政育人,润物无声。

参 考 文 献

- [1] Weseler, A. R.; Bast, A. *Nutr. J.* **2017**, *16*, 5.
- [2] 李煦,白雪晴,刘长霞,刘博静,范小振. 食品安全质量检测学报, **2021**, *12* (20), 8163.
- [3] 彭祖茂,邓梦雅,严虞虞,朱丽,张协光. 食品研究与开发, **2018**, *39* (17), 100.

-
- [4] 王海. 紫甘蓝花青素的提取纯化、结构鉴定及其生物学作用的研究[硕士学位论文]. 泰安: 山东农业大学, 2012.
- [5] 张小平, 张旻媛. 化学教学, **2014**, 6, 50.
- [6] Mattioli, R.; Francioso, A.; Mosca, L.; Silva, P. *Molecules* **2020**, 25, 3809.
- [7] Sinopoli, A.; Calogero, G.; Bartolotta, A. *Food Chem.* **2019**, 297, 124898.
- [8] 唐忠厚, 周丽. 食品研究与开发, **2009**, 30 (7), 159.
- [9] 徐青, 王代波, 刘国华, 李冰晶, 周元敬. 食品研究与开发, **2020**, 41 (7), 218.
- [10] 肖婧. 广东化工, **2019**, 46 (6), 104.
- [11] 高攀峰, 侯金丽, 傅海燕, 温小娟, 郑锦娟. 食品研究与开发, **2015**, 36 (12), 36.
- [12] 张小军, 夏春镗, 吴建铭, 谢正荣. 原花青素的资源及研究进展//2008年中国药学会学术年会暨第八届中国药师周论文集. 2008年中国药学会学术年会暨第八届中国药师周, 石家庄, 2008年10月18-20日. 石家庄, 2008: 2468-2483.
- [13] 方鹏. 高温胁迫下“红阳”猕猴桃果实花青素合成与分解途径解析[硕士学位论文]. 合肥: 安徽农业大学, 2016.