

“桦”学魔法

大兴安岭的森林宝藏

作者：陈颖源，周锐，李一诺，周亭亭^{*}；Email: 20231342@s.hlju.edu.cn

一、引言

在大兴安岭的崇山峻岭间生长着一种独具特色的乔木——白桦(*Betula platyphylla Sukaczew*), 因其丰富的观赏、药用、文化和经济价值而备受关注。白桦是桦木科桦木属乔木, 属双子叶植物纲, 广泛分布于我国东北地区, 其树皮呈灰白色且易分层(图1), 具有重要的经济价值和独特的地域文化属性。勤劳勇敢的鄂伦春族人民常年生活在黑蒙交界的大兴安岭地区, 不仅积累了丰富的生产生活经验, 还拥有着精湛的非遗桦树皮制作技艺^[1]。他们从生产生活中发现白桦树皮防水和抗氧化的特性, 并据此特性制得轻巧易携且牢固耐用的各种器具, 如桦木弓、桦皮盒和桦皮屋等(图2)^[2]。由于公路的修建和封山育林政策的实施, 桦皮屋和桦皮船等失去了其原有的必要性作用。许多鄂伦春族正迁出森林定居和工作, 只有少数老年人还熟练掌握传统的桦皮制作技艺, 白桦树皮文化正面临急速消亡^[3]。

现今, 白桦树依然具有多元应用价值, 可作为家具、造纸等的原材料, 其树汁还具有保健的药用功能。《本草纲目》记载, 白桦树皮可用于治疗黄疸、痢疾和疥疮等疾病。白桦树皮不但可作为中药材入药, 还因其柔韧性强、颜色美观、耐腐蚀及防潮功能而



①【图1】白桦树皮的分层构造



①【图2】桦树制品

成为制作生活器具与绘画创作的原材料^[4]。随着科学技术的发展, 白桦树皮中的化学成分得到分离与提取, 其天然产物的化学结构逐渐被揭晓, 相关的药理功能得到了验证^[5], 其中最显著的是其强大的抗氧化防腐性能。

当今社会人们对于抵抗衰老和永葆年轻的关注度与日俱增, 但对于抗衰老保健品(如白桦树汁)及其抗氧化原理的认知存在诸多误区。本科普设计旨在通过白桦树皮天然成分的提取、抗氧化性测定和碘钟实验等一系列步骤, 增进人们对于抗氧化反应原

理的了解, 深入挖掘白桦树皮的科学价值。在此基础上, 设计面向不同年龄、不同知识储备人群的梯度科普方案, 包括但不限于手工DIY、化学绘画、生活现象模拟还原和问卷调查等互动形式, 将科学与传统文化相结合, 打破学科界限, 向大众展示白桦树皮在化学、艺术和文化等多方面的魅力, 体现化学之奇妙无穷, 激发大众尤其是青少年对科学探索和文化遗产的兴趣。

此次科普还将提高人们对植物资源利用和传统文化保护的重视程度, 引发大众对正在消逝的

传统文化的深入思考, 让更多人参与到保护传统文化的行动中来, 使这些珍贵的文化遗产得以延续和发扬。

二、实验部分

1. 实验原理

1.1 白桦树皮天然成分的提取

白桦树皮中含有多种天然成分, 主要是三萜类、黄酮类和一些酚类化合物, 这些成分大多具有一定的极性。乙醇是一种极性溶剂, 其分子中含有羟基, 能够与这些成分产生较强的相互作用, 从而高效地将它们从复杂的基质中分离出来。本实验采用乙醇作萃取剂, 通过旋转蒸发的方法获取萃取液中的白桦树皮天然产物。白桦树皮天然成分的提取率 Y 可利用公式 (1) 计算:

$$Y = \frac{m}{m_0} \times 100\% \quad (1)$$

式中: m ——提取物的质量 (g); m_0 ——原料的质量 (g)。

Y 就是衡量一次实验“手艺”好坏的百分比, 实际得到的东西

质量越大, 提取率就越高。

1.2 抗氧化性测定

自由基是一种含有未成对电子的化学物质, 它像是一个丢了“另一半”的暴躁分子。在生物体内, 它为了维持稳定四处抢夺, 搞得细胞鸡犬不宁。过量的自由基会引发生物体代谢紊乱, 因此只有维持自由基浓度在正常水平, 才能维持代谢功能的稳定, 并在一定程度上增强机体免疫能力。在此, 我们选择体外抗氧化性检测中常用的检测 1,1-二苯基-2-苦基肼 (DPPH) 自由基清除率的方法来评估不同物质抗氧化性能的强弱。该检测方法的基本原理是: DPPH 自由基的乙醇溶液呈深紫色, 在紫外-可见光区具有较强的吸收光谱, 这表示它对于某一范围的光波具有很强的吸收 (吸光度), 而吸光度就是衡量一束光穿过样品时“被吃掉”了多少的量度。向 DPPH 自由基溶液中加入抗氧化剂时, 这些试剂会提供电子与 DPPH 自由基发生反应, 清除自由基, 使溶液紫色褪去 (图 3) [6]。

通过加入抗氧化剂前后吸光度的变化可以计算 DPPH 自由基的清除率 E , 就是看抗氧化剂“出手”后, 能把那锅代表自由基的“紫汤”颜色变浅的程度, 颜色褪得越厉害, 清除能力就越强。 E 的计算如公式 (2) 所示:

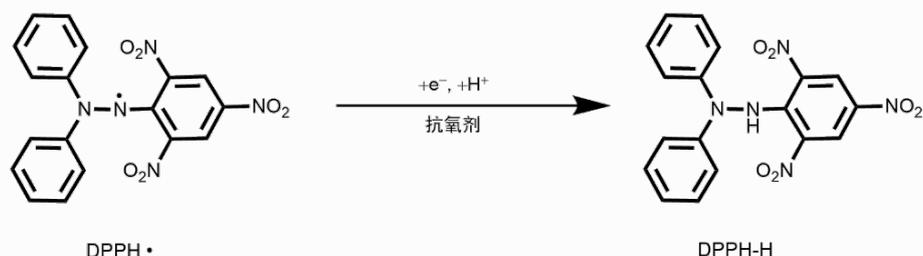
$$E = \frac{A_{\text{对照}} - A_{\text{样品}}}{A_{\text{对照}}} \times 100\% \quad (2)$$

式中: $A_{\text{对照}}$ ——未加抗氧化剂时的 DPPH 自由基乙醇溶液在特定波长 (517 nm) 下的吸光度值; $A_{\text{样品}}$ ——加入不同浓度抗氧化剂样品后的吸光度值 [6]。

IC_{50} (mg/mL) 为半抑制浓度, 表示自由基清除率达 50% 时所需抑制剂的浓度。它就像是一种药物“药劲儿”大小的标尺, 数值越小, 说明它用很小的量就能起效, 威力越强。因此在本实验中, IC_{50} 可以理解为抗氧化能力的“评分标准”, 其值越小说明抗氧化效果越好。

1.3 碘钟实验

碘钟实验是显示化学反应进



① 【图 3】 DPPH 自由基反应通式

程的经典实验^[7]，也可以体现物质的氧化还原特性。本实验设计的 H_2O_2 型碘钟是通过向硫酸酸化的淀粉- H_2O_2 混合溶液中依次加入碘伏和白桦提取物溶液的混合反应体系。这个实验就像是一场“蓝色爆发”的计时赛，比赛双方是“制造颜色的淀粉- I_2 ”和“削弱颜色的白桦提取物”。在这个比赛中，白桦提取物将碘伏中能使淀粉变蓝的 I_2 还原为无色的 I^- ，而 H_2O_2 同时会持续地将无色的 I^- 氧化回原来的 I_2 。这使得溶液的蓝色会在二者的竞争中缓慢褪去，褪色的时间直接反映了白桦提取物抗氧化能力的强弱。实验过程中观察到混合液颜色逐渐退去，便可验证白桦树皮提取物具有一定的还原性。

2. 实验试剂和材料

白桦树干购自上海稻艺装饰材料公司，桦树皮（中药材）购自亳州市口袋医生健康科技有限公司，玉米淀粉购自沈阳市苏家屯区星火食品厂。DPPH 自由基、桦木醇、茶多酚与白藜芦醇等试剂购买于天津希恩思生化科技有限公司。无水乙醇、硫酸和过氧化氢溶液（30%）购买于天津市富宇精细化工有限公司，抗坏血酸（Vc）购买于天津市科密欧化学试剂有限公司。碘伏（0.5%）购买于山东省新洁仕医疗科技有限公司。

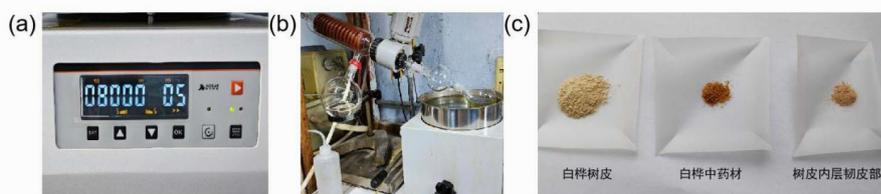


图 4 白桦树皮天然成分的提取过程

3. 仪器和表征方法

AR1140 型电子天平（奥豪斯仪器有限公司）、KQ-500DB 型数控超声波清洗器（昆山市超声仪器有限公司）、R-201 型旋转蒸发器（上海申顺生物科技有限公司）、UV-1700 型紫外分光光度计（日本岛津公司）与 XU-16K-M 型高速台式离心机（上海析牛莱伯仪器有限公司）。

表征方法：白桦树皮的天然成分具有较强的 DPPH 自由基清除能力。本实验以抗坏血酸作为阳性对照组^[8]，以桦木醇、茶多酚和白藜芦醇作为抗氧化对照组，利用紫外分光光度计测定不同浓度的 4 组对照组溶液和白桦树皮提取物溶液分别与 DPPH 自由基溶液反应 30 min 后的吸光度值，计算并比较它们对 DPPH 自由基的清除率（以下简称“清除率”）和 IC_{50} ，从而验证白桦树皮天然成分的抗氧化能力^[9]。最后，通过白桦树皮提取物的趣味碘钟实验，验证其亦具有一定的还原性。

4. 实验步骤及现象

4.1 白桦树皮天然成分的提取

将白桦树皮、树皮内层韧皮部和白桦中药材 3 种原材料分别通过研磨机破碎成粉末，各准确量取 1.500 g，记为初始质量并填入表 1。将 3 组粉末分别加入至 100 mL 无水乙醇中，室温下置于超声波清洗器中超声提取 30 min。将 3 组提取物溶液分批移至离心管配平后离心 5 min，转速设置为 8000 r/min（图 4a）。离心沉降后，将上层清液分别移入单口瓶中并通过旋转蒸发除去乙醇溶剂，水浴温度设置为 60 °C（图 4b）。该过程可以观察到，随着乙醇不断从溶液中蒸出，3 组提取物溶液的颜色均逐渐变黄，最终得到白桦树皮提取物，其中白桦中药材的颜色最深，呈棕黄色，其余 2 组均为浅黄色（图 4c）。

分别称量 3 组提取物最终的质量，然后根据公式 (1)，可计算得到 3 组待测物的提取率 Y 并记在表 1 中。根据文献，以乙醇作为萃取剂时的提取率较高^[10]，其

中白桦树皮作为提取原料时的提取率最高。此方法简便易行，所

提取得到的产物完全满足实验需求，在科普展示中效果良好。因

此，在科普实验设计中，该提取方法合理有效。

表 13 组白桦树原料的提取率 Y

原料	白桦树皮	树皮内层韧皮部	白桦中药材
初始质量 /g	1.5007	1.5009	1.5005
提取物质量 /g	0.2160	0.0621	0.0652
Y/%	14.39	4.14	4.35

4.2 DPPH 自由基溶液标准工作曲线的绘制

4.2.1 DPPH 自由基标准溶液的配制

准确称量 4 mg DPPH 自由基，超声溶解于 100 mL 无水乙醇中（同 4.1），得到 0.04 mg/mL DPPH 自由基标准溶液（以下简称“标准溶液”），溶液颜色为深紫色。

4.2.2 标准溶液紫外光谱测试

量取 4 mL 标准溶液，通过紫外分光光度计进行全波长扫描，得到结果如图 5a 所示。可以发现在 324 nm 和 517 nm 处分别有两处吸收峰。接下来对无水乙醇进行全波长扫描，发现其仅在 324 nm 处显示出最大吸光度值。因此，本次实验将 517 nm 设定为标准溶液的检测波长^[6]。

4.2.3 绘制标准工作曲线

根据朗伯 - 比尔定律，溶液的浓度越高或者液层越厚，对光的吸收能力就越强，测得的吸光

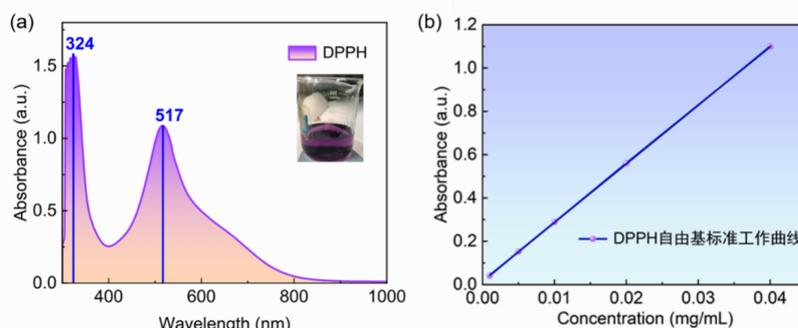
度就越大。因此我们利用这种物质的含量与其吸光度成正比的规律进行分析并绘制 DPPH 自由基浓度与含量的关系曲线（标准工作曲线）。

将标准溶液依次稀释至 0.02、0.01、0.005 和 0.001 mg/mL，分别测量其在 517 nm 波长下的吸光度值，并绘制吸光度值 (A) - 浓度 [C /(mg/mL)] 标准工作曲线（图 5b）。根据标准工作曲线的拟合方程，得到吸光度值的计算如式 (3) 所示：

$$A=27.08385C/[C]+0.01633 \quad (3)$$

4.3 清除率的测定

分别准确称量 5 mg 的 3 组提取物，超声溶解于 10 mL 无水乙醇中（同 4.1），配制成 0.5 mg/mL 的溶液，并依次稀释至 0.1、0.05、0.02、0.01、0.005、0.002、0.001 和 0.0005 mg/mL。分别移取 2 mL 不同浓度的溶液于离心管中，并加入 2 mL 标准溶液进行自由基清除抗氧化反应。反应进行到 30 min 时，观察到高浓度溶液 (≥ 0.02 mg/mL) 的褪色明显，呈浅黄色或浅粉色；低浓度溶液 (≤ 0.01 mg/mL) 褪色不明显，呈紫色或深紫色（图 6a）。



【图 5】(a) DPPH 溶液的紫外吸收光谱；(b) DPPH 溶液的自由基浓度与含量的关系曲线

由于标准溶液与各溶液等体积混合,其浓度稀释为原先的一半,即 0.02 mg/mL ,将此值代入到公式(3)中算得 A 对照为 0.558007 。利用紫外分光光度计测量在 517 nm 波长下不同浓度的 3 组提取物反应液的吸光度值,记为 A 样品。将 A 样品与 A 对照代入公式(2),分别计算每组的清除率并作图,结果如图 7a 所示。从结果可以看到,白桦树皮提取物确实能更为有效地清除自由基,具有抗氧化作用。

从图 7a 中可进一步获得 3 组提取物的 IC_{50} ,分别为 0.0283 、 0.0153 和 0.0543 mg/mL 。 IC_{50} 值越小,则说明抗氧化效果越强。可发现树皮内层韧皮部提取物的 IC_{50} 最小,说明其抗氧化能力强,但整体上与白桦树皮提取物的差异不大,这与前面的结论相一致。

为了进一步验证白桦树皮提取物的抗氧化效果,我们选择了抗坏血酸、茶多酚和白藜芦醇等人们熟知的抗氧化物质进行了自由基清除率测定。由于抗坏血酸难溶于乙醇,因此以乙醇水溶液(体积比 1:1)作为溶剂配制溶液。准确称量 5 mg 抗坏血酸,超声溶解于 50 mL 混合溶剂中(同 4.1),再分别准确称量 5 mg 茶多酚、桦木醇和白藜芦醇,超声溶解于 50 mL 无水乙醇中(同 4.1)。将

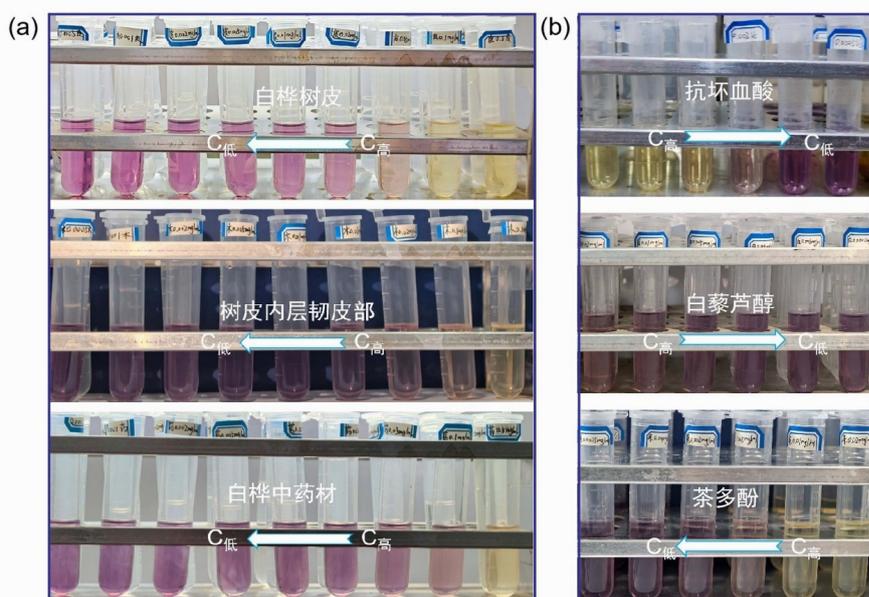


图 6 (a) 不同浓度的 3 种白桦树提取物的自由基清除效果对比图; (b) 不同浓度的 3 种常见抗氧化物质的自由基清除效果对比图

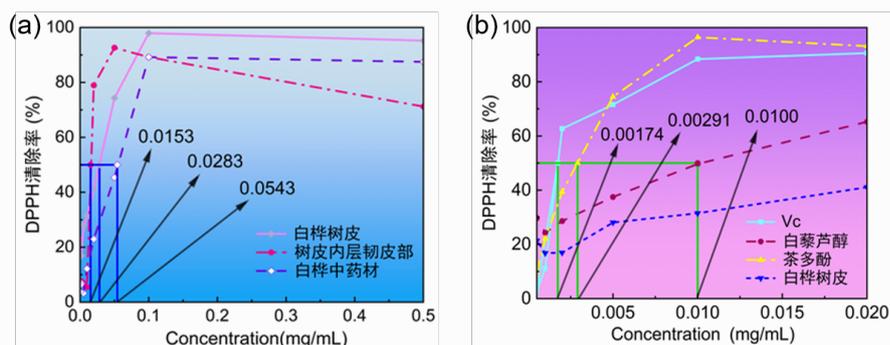


图 7 (a) 3 组白桦树皮提取物的抗氧化性能对比图; (b) 常见抗氧化物质对照组的抗氧化性能对比图

4 个对照组均配制成 0.1 mg/mL 的溶液,并依次稀释至 0.02 、 0.01 、 0.005 、 0.002 、 0.001 和 0.0005 mg/mL 。分别移取 2 mL 不同浓度的溶液于离心管中,加入 2 mL 标准溶液引发反应。待反应进行到 30 min 时,发现仅桦木醇组的一系列反应溶液未发生褪色,其余各组溶液的颜色均随 DPPH 自由基浓度的不同而产生

不同程度的褪色(图 6b)。以上现象可以证明桦木醇不具备抗氧化能力,同时根据相关文献可推测,白桦树皮的抗氧化能力来源于除桦木醇外的其他组分,如儿茶素^[5]。

为了对比常见抗氧化物质与白桦树皮提取物的抗氧化能力,利用 4.3.1 中的方法计算了每组

的清除率，并与白桦树皮组作对比，结果如图 7b 所示。抗坏血酸、茶多酚和白藜芦醇均具有抗氧化能力，并且强于白桦树皮提取物。通过对比实验结果，我们发现了一个有趣的现象——在浓度很低的时候，白桦树皮提取物的抗氧化能力反而比抗坏血酸和茶多酚表现更好^[11]。我们分析了其中的原因，很可能是因为我们提取出的产品里，真正有效的成分占比不高，“水分”比较大。如果能优化提取方法，把有效成分“浓缩”一下^[10]，它的抗氧化潜力很有希望被激发出来。因此本实验展现出了良好的可改进性和应用前景。

我们还可以从图 7b 获得更具体的信息——抗坏血酸、茶多酚和白藜芦醇的 IC_{50} 值一个比一个小，尤其是抗坏血酸数值最低，说明它的抗氧化能力是三者之中最强的。对比白桦树皮提取物的 IC_{50} ，这 3 个对照组的 IC_{50} 都明显更低也更有抗氧化效果，这也再次印证了在本次实验条件下白桦树皮提取物的抗氧化能力确实还有很大提升空间。

4.4 白桦提取物的碘钟实验

配制 10 mg/mL 淀粉水溶液、1 mg/mL 白桦提取物溶液、1 mmol/L 稀硫酸和 0.1 mmol/L H_2O_2 溶液。将适量淀粉溶液与 H_2O_2 溶液倒

入 A 试管，混匀，滴加少量硫酸，调 pH 到酸性范围，配成 A 液；将适量提取物溶液与碘伏倒入 B 试管，混匀，配成 B 液。将 A、B 液充分混合，静置，可观察到试管内深色溶液逐渐褪色，反应前后对比（图 8）。由此可证明白桦提取物具有一定的还原性。

从常见蔬果中的抗氧化卫士，到充神秘变幻的碘钟反应，我们手中的白桦树皮提取物，以其独特的方式证明了它同样是一份来自大自然的抗氧化馈赠。这些实验不仅揭示了化学与日常生活的紧密联系，更让我们直观地看到看似深奥的“抗氧化”过程，其实就是生命体一次次精准及动态的自我守护。

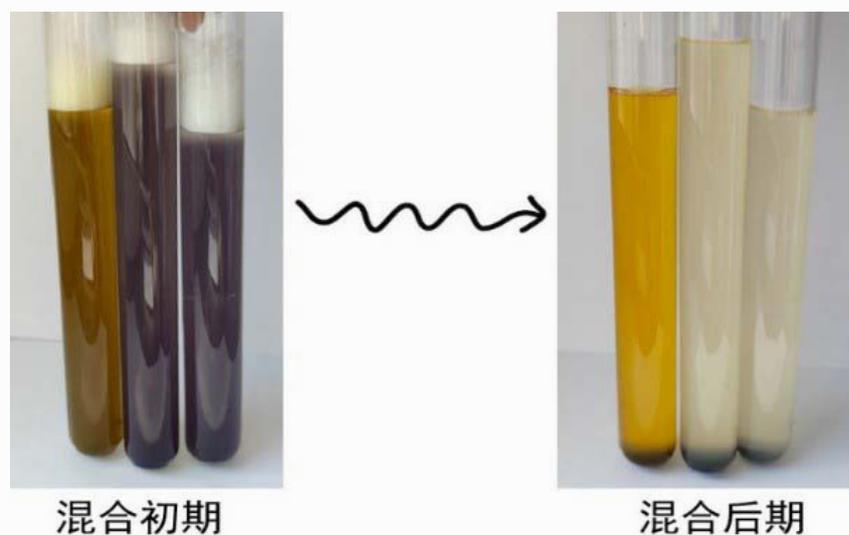
三、科普展示

虽然我们已经在实验室中见

证了白桦树皮的抗氧化能力，但化学的魅力远不止于数据和图谱。如何让这些重要的化学原理走出实验室，成为人们可触可感的体验？接下来，我们将一同探索，将白桦树皮的抗氧化研究转化扩展为一场场与公众对话的趣味科普互动。

1. 面向儿童的科普

为了吸引小朋友的注意力，我们采用了具有明显颜色变化的实验小魔术来展示白桦树皮的抗氧化效果。受到白桦提取物的碘钟实验启发，同时结合了中华传统文化，我们用毛笔蘸取白桦提取物溶液在涂有淀粉-碘伏混合液的纸上作画，白桦提取物将碘还原，对应位置上的颜色变浅或消失，由此可绘制出多彩的画作（图 9），同时可延伸探讨白桦提取物作为抗氧化药物的科学价值。



①【图 8】碘钟实验前后对比

我们还可以讲解鄂伦春族的非遗白桦树皮文化,让孩子们了解白桦树皮的抗氧化与防腐特性,并为孩子们发放小块白桦树皮进行手工DIY设计,得到具有不易腐烂的白桦树皮装饰品(图9),进一步加深其对抗氧化特性的理解。当化学的实验之美与艺术的创造之力相遇,我们便为古老的智慧结晶注入了新的文化基因,让科学在传承中薪火相传。

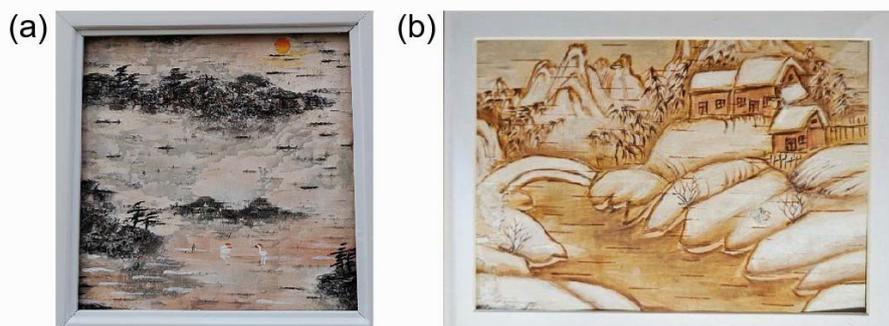
2. 面向中学生的科普

由于中学生已具备一定的化学知识储备,我们以DPPH自由基溶液遇抗氧化剂褪色的特性为基础,通过比色法对比白桦树皮提取物与柠檬水、绿茶和蜂蜜等常见物质的抗氧化能力,为同学们科普白桦提取物的抗氧化特性及其在生活领域中的应用。我们还展示了白桦树皮天然成分的分离提取原理及过程,类比青蒿素的提取,分享屠呦呦老师的事迹,引发学生对于物质提纯分离的兴趣,凸显天然成分分离技术的重要性。

结合少数民族特有的白桦树皮文化,讲解白桦树皮的雕刻及绘画艺术,放映相关纪录片,带领学生用“刻纹”的制作方法进行树皮画的制作(图10a),并学习“烫纹”技术(图10b)^[3],通过动手实践提升学生对白桦树皮



①【图9】多彩画作及DIY树皮装饰品



①【图10】树皮画

的艺术文化价值和抗氧化防腐性能的理解。

3. 面向大学生的科普

首先,开设讲座详细科普DPPH自由基溶液褪色的反应机理和紫外分光光度计的使用方法,让学生了解自由基及抗氧化机理。讲解白桦树干的生物构造,科普白桦树皮的防腐功效,并引发学生思考白桦树皮有效成分提取率低的原因(图11)。

随后为了增进科普的校园宣传效果,我们通过街头随机采访,了解大学生群体对鄂伦春族白桦树皮非遗文化的熟悉程度,并通过展示白桦树皮工艺品增进学生对非遗文化的认识。此外,还可

整理并彩印抗氧化实验、化学绘画、白桦树、桦树工艺制品和鄂伦春族非遗文化的相关图片,在校园中搭建艺术展板,向有兴趣驻足查看的同学科普白桦树的相关知识。引用艺术的语言,解锁化学的密码,让千年文化在分子世界中焕发新生。

4. 面向社会大众的科普

我们以市面能买到的白桦树汁和白桦中药材为原材料,向公众展示白桦树汁和白桦中药材对DPPH自由基溶液的清除效果,科普白桦树衍生出的保健功效。随后,利用森林博物馆资源,为参观的游客进行志愿讲解,使游客们系统地学习白桦树的主要分布、结构组成、抗氧化性能和相



①【图 11】大学科普讲座

关工艺品（如桦皮船、桦皮盒和桦皮画等）的制作技艺，传播白桦树皮非遗文化（图 12）。

为了进一步扩大科普的影响力，我们将制作好的科普实验展示视频投放到哔哩哔哩和小红书等网络媒体平台，提高白桦树皮非遗文化的曝光度。同时，借助微信公众号平台推出科普问卷，广泛收集大众对白桦树皮非遗文化的认识情况（图 13）。让化学原理走出象牙塔，架起一座创意之桥，将其融入日常的烟火气与



①【图 12】博物馆讲解与白桦展品

文化的血脉里。

四、结语

本科普实验以白桦树皮为载体，构建自然科学与人文艺术融合的科普模式，通过安全简便的抗氧化能力测定与充满趣味的碘钟实验，将复杂的化学原理转化为可视化的现象，既展示了自由基抗氧化的原理，又将桦树皮制作的非遗文化带到大众生活之中，方便各类人群参与；通过手工DIY、化学绘画和街头采访等互动模块，将科学实验与非遗技艺相融合，构建“自然-科学-人文”的跨学科框架，在文化传承中培育科学精神。同时，本实验又为植物资源利用及传统技艺传承探索了新的路径，对于科学



【图 13】网络平台科普视频及调查问卷分析

教育与文化遗产保护协同发展起 | 到示范性作用。

参考文献

[1] 第一批国家级非物质文化遗产名录(少数民族部分). [2014-01-13]. <https://www.neac.gov.cn/seac/c100845/201401/1096446.shtml>.

[2] 张延辉. 鄂伦春族桦树皮制品的装饰纹样艺术及其文化内涵[J]. 佳木斯大学社会科学学报, 2024, 42(1): 135-138.

[3] 魏立群. 亟待抢救的桦树皮文化[J]. 黑龙江史志, 2016(6): 52-56.

[4] 冯亚亚. 桦木醇的提取及桦木酸的合成工艺研究[D]. 天津: 天津科技大学, 2017.

[5] 赵明, 赵英楠, 李军, 等. 白桦树皮化学成分研究[J]. 中草药, 2020, 51(16): 4117-4123.

[6] 李铉军, 崔胜云. 抗坏血酸清除DPPH自由基的作用机理[J]. 食品科学, 2011, 32(1): 86-90.

[7] 沈家国, 杨涛, 吴思展. 碘钟反应测定反应级数中的试剂因素分析[J]. 化学教育, 2015, 36(12): 70-76.

[8] Gao Y, Wang S, Dang S, et al. Optimized ultrasound-assisted extraction of total polyphenols from Empetrum nigrum and its bioactivities[J]. J Chromatogr B, 2021, 1173, 122699.

[9] 郭思汝. 东北地区白桦树皮三萜类化合物含量、抗氧化活性的变化及其影响因素分析[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2023.

[10] 胡祥正, 周宏建, 宋光珍. 以乙醇、乙醇/水为溶剂提取白桦树皮中桦木醇的工艺研究[J]. 天津科技大学学报, 2011, 26(6): 48-50,55.

[11] 孙宏, 张泽, 刘琳钰. 白桦树皮中白桦脂醇的抗氧化性测定研究[J]. 林产化学与工业, 2018, 28(5): 105-108.