

“DNA的粗提取与鉴定”实验设计与改进

潘玲^{1,2}, 郑先喆^{1,2*}

¹乐山师范学院生命科学学院, 四川 乐山

²乐山师范学院西南特色经济植物杂交与育种研究中心, 四川 乐山

收稿日期: 2026年5月3日; 录用日期: 2026年6月4日; 发布日期: 2026年6月11日

摘要

“DNA的粗提取与鉴定”实验是高中生物学中的一个重要实验, 但存在实际操作复杂、提取所用试剂危险、操作效率低等问题, 难以在中学进行普及。本研究利用市面上常见的洗涤剂进行了DNA粗提取实验的改进探究, 并对比了不同洗涤剂以及不同浓度对于各种植物材料的DNA粗提取效果。结果显示, 用洗洁精与洗衣粉均能达到实验效果。此外, 不同植物材料中, 葱的提取显色效果最好, 其次是洋葱、白菜。实验改进后, 所用试剂更安全、简单易行、显色现象明显、可操作性更高。

关键词

DNA的粗提取, 洗涤剂, 改进

Experimental Design and Improvement of “Crude Extraction and Identification of DNA”

Ling Pan^{1,2}, Xianzhe Zheng^{1,2*}

¹College of Life Science, Leshan Normal University, Leshan Sichuan

²Southwest Research Center for Cross Breeding of Special Economic Plants, Leshan Normal University, Leshan Sichuan

Received: May 3, 2026; accepted: June 4, 2026; published: June 11, 2026

Abstract

The crude extraction and identification experiment of DNA is an important experiment in high school biology, but there are problems such as the use of dangerous reagents for complex extraction and low operation efficiency, which are difficult to popularize in middle schools. This study uses

*通讯作者。

common detergents on the market to improve the DNA crude extraction experiment and compares the effects of different detergents and different concentrations on the DNA crude extraction of various plant materials. The results show that the crude extraction effect of detergent at the same concentration of 10% is better than that of washing powder, and 10% of detergent can get a better extraction effect. In addition, the extraction effect of scallion is the best among different plant materials, followed by onion and cabbage. After experimental improvement, the reagents used are safer, simpler and easier to perform. The color rendering phenomenon is obviously more operable.

Keywords

Crude Extraction of DNA, Detergent, Improvement

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着现代分子生物学与基因工程技术的飞速发展,人类对生命遗传本质的探索不断向纵深推进,DNA作为绝大多数生物的遗传物质核心,不仅成为生物科学领域的研究基石,也成为高中阶段生物教学中连接微观分子与宏观生命性状的关键知识点。高中生物学必修模块实验侧重基础性、普及性,以夯实核心概念、掌握基础操作、建立基础生命认知为主要目标,面向全体学生,重在完成基础科学素养的普及;而选择性必修模块立足必修知识进行延伸,面向有学科拓展需求、计划深入学习生物学学科的学生,实验设计不再局限于简单现象验证,更偏向实操性、拓展性和应用性。为了让学生跳出抽象、枯燥的课本理论知识,真正从具象层面直观认知DNA的分子结构、理化特性与生物学功能,切实理解基因工程可使生物获得新遗传特性的核心内涵,人教版高中生物学选择性必修3《生物技术与工程》教材特意设计了“DNA的粗提取与鉴定”这一经典探究实验。这类选择性必修实验,既是对必修阶段遗传物质相关理论的具象化补充,也是衔接现代生物技术原理的重要载体,目的是引导学生从基础理论知识走向工程实践,理解生物技术的实验逻辑、操作原理与实际应用,完成从理论到实践的过程,帮助学生体会实验技术在生物工程、遗传改良等领域的实际作用,落实高阶科学探究能力与工程思维的培养[1]。

该实验是高中生物学选修模块中极具代表性的核心实践内容,承担着多重重要的教学价值:一方面,它能引导学生在动手操作中掌握DNA的粗提取、析出与鉴定的核心原理与技术流程,逐步建立起从细胞破碎、DNA释放到杂质分离、产物纯化的完整知识链;另一方面,它能够通过真实、可操作的探究场景,帮助学生准确把握基因工程可使生物获得新遗传特性的重要内涵,是落实“生命观念、科学思维、科学探究、社会责任”生物学学科核心素养的关键教学载体[2]。在理想的教学场景中,学生能够通过亲手操作,清晰、直观地观察到DNA呈现出的白色絮状沉淀,并通过二苯胺鉴定的颜色变化直观验证DNA的存在,从而进一步深化对“DNA是主要遗传物质”这一核心结论的理解,为后续学习基因工程、蛋白质工程等现代生物技术奠定坚实的实践基础。

然而,在我国中学,尤其是广大乡村中学和条件相对薄弱学校的实际教学落地过程中,该实验的常态化开展仍然面临着诸多现实困境,这些问题严重制约了其应用的教学价值的发挥[3]。教材中指定的研磨液配制环节,是实验准备阶段的核心难点,配制过程中需要用到Tris(三羟甲基氨基甲烷)、EDTA(乙二胺四乙酸)、SDS(十二烷基硫酸钠)、盐酸等一系列专业生化试剂[4],不仅试剂的采购渠道有限、且保

存条件严苛: Tris 需避光密封、EDTA 需高温助溶、SDS 具有刺激性, 且配制流程极为繁琐: 教师需要提前准备, 需精准调控 pH 值至 8.0 左右, 严格控制各组分的摩尔浓度与比例, 经过反复溶解、定容、分装等操作, 不仅要耗费大量的课前准备时间, 也对实验操作者的专业能力与实验室硬件条件要求较高。同时, 这类专业生化试剂普遍存在一定的安全风险: SDS 具有黏膜刺激性与毒性, 若皮肤直接接触或吸入粉尘, 易引发过敏、炎症等不良反应[5]; 盐酸具有较强的腐蚀性, 若操作不当极易对师生的身体造成伤害, 也对实验台面、排水系统等设施造成腐蚀损伤。此外, 专业化试剂的采购成本较高, 实验耗材消耗量大, 对于实验经费有限、硬件条件相对薄弱的学校而言, 这类实验往往难以正常开展, 许多学生只能通过教师口头讲解或观看视频被动了解该实验, 无法获得真实的探究体验, 这在很大程度上制约了相关教学目标的实现与学生核心素养的培养。

针对这一问题, 研究者查阅文献后, 发现可以从实验材料的生活化替代方向切入, 对教材原有研磨液配方进行系统性优化改良。从作用原理看, 教材研磨液中的 SDS 属于阴离子表面活性剂, 能够破坏细胞膜与核膜的脂质双分子层结构, 使蛋白质变性沉淀, 从而释放出 DNA 分子, 并保护其不被核酸酶降解[6]; 而市面上常见的各类家用洗涤剂(如洗洁精、洗衣粉、洗衣液等), 其核心有效成分同样是阴离子或非离子表面活性剂, 具有与 SDS 相似的细胞裂解作用, 且安全性更高、更容易获取, 因此可用洗涤剂替代专业试剂完成细胞研磨关键步骤。基于这一思路, 本研究选取了易得、成本低、低风险的洗洁精与洗衣粉作为替代研磨液, 并设置一系列浓度梯度, 探究不同浓度的洗涤剂对 DNA 的提取效果。

教材中的实验材料选用的洋葱, 为了让实验结论更具普遍性、实用性和推广价值, 为不同地区、不同季节、不同物资条件的学校提供更多可选择、可替换的实验方案, 进一步丰富中学“DNA 的粗提取与鉴定”实验的材料来源, 本研究在洋葱之外, 同步选取了日常生活中常见、采购便捷、成本低廉的豆芽、白萝卜、葱、白菜多种植物材料开展系统对比实验, 这些材料水分含量高、细胞易破碎、DNA 含量丰富, 非常适合在中学课堂大规模推广使用。

本研究旨在为“DNA 的粗提取与鉴定”实验在中学能顺利开展提供系统的、多材料的验证方案, 一方面, 通过生活化材料替代专业试剂, 有效降低实验成本, 消除专业试剂带来的安全风险, 简化实验准备与操作流程, 减少实验所用的时间; 另一方面, 通过多种常见植物材料的对比筛选, 为不同地区、不同学校提供可根据本地食材灵活调整的实验材料。

2. 实验教学方案设计

2.1. 实验原理

基因组 DNA 主要位于细胞核的双层膜中, 细胞又由细胞膜包被, 想要获取基因组 DNA 首先要打破细胞膜和细胞核膜, 从而释放基因组 DNA 和其他内容物。细胞膜与细胞核膜等生物膜结构的核心组成为磷脂与蛋白质, 磷脂作为膜结构的基本骨架, 其结构一旦受损便会瓦解整个生物膜体系[7]。表面活性剂(如 SDS、CTAB 等)是一类兼具亲水端与疏水端的化学物质, 能够与细胞膜中磷脂分子和膜蛋白发生相互作用。磷脂头部亲水、尾部疏水, 依靠疏水作用稳定排布, 当表面活性剂作用于细胞时, 其疏水基团会插入磷脂双分子层的疏水尾部区域, 破坏磷脂分子间的疏水作用力与有序排列, 瓦解膜的双层结构; 同时亲水基团向外结合水环境, 打乱磷脂原本的稳定排布, 造成磷脂层解体。除此之外, 表面活性剂还会结合细胞膜上的膜蛋白, 破坏蛋白质的空间结构, 打断蛋白与磷脂、蛋白与蛋白之间的连接作用, 使膜蛋白变性、解离失活。磷脂骨架破损叠加膜蛋白结构破坏, 会直接导致细胞膜完整性丧失、通透性失控, 最终造成细胞膜破裂、细胞结构受损。因此, 在 DNA 提取实验中, 通常会向研磨液中添加这类表面活性剂, 配合对提取材料的充分研磨或匀浆处理, 能够最大化地破碎植物细胞, 实现基因组 DNA 的充分释放[8]。本实验所使用的洗洁精为雕牌洗洁精, 含有 C₁₀₋₁₆ 烷基苯磺酸钠、C₁₀₋₁₆ 醇聚氧乙烯醚硫酸酯钠、

C₁₄₋₁₆ 烷基硫酸钠、椰油酰胺丙基氧化胺, 皆为表面活性剂; 洗衣粉为奥妙洗衣粉, 虽在产品介绍中未标明其表面活性剂主要成分, 但根据其他洗衣粉应含有烷基苯磺酸钠、 α -烯基磺酸钠、脂肪醇聚氧乙烯醚硫酸钠、脂肪醇硫酸、脂肪醇聚氧乙烯醚等表面活性剂。因此可以作为低成本的替代试剂, 充当研磨液的有效成分, 完成细胞裂解步骤, 这一特性也为实验的简化与生活化改进提供了理论依据。

在完成细胞研磨与裂解后, 得到含有杂质的提取液, 包括蛋白质、多糖、脂类以及细胞碎片等, 通过一系列分离步骤去除杂质, 收集目标 DNA。首先, 利用 DNA 溶于 NaCl 溶液的特点, 使杂质发生沉淀析出, 而 DNA 则保持溶解状态, 从而实现 DNA 与大部分杂质的有效分离; 随后, 基于蛋白质可溶于冷无水乙醇, 而 DNA 不溶于冷无水乙醇的性质, 向含有 DNA 的上清液中加入预冷的无水乙醇, DNA 会因溶解度急剧下降而以白色絮状沉淀的形式析出, 而残留的蛋白质等杂质则继续溶解在乙醇溶液中, 通过离心分离即可获得纯度较高的基因组 DNA [9]。

最后进行二苯胺显色反应, DNA 在 2 mol/L 的高浓度 NaCl 溶液中溶解度最高, 能够完全溶解; 在沸水浴加热的条件下, 溶解状态的 DNA 分子中的脱氧核糖会与二苯胺试剂发生特异性的显色反应, 生成蓝色的络合物, 且蓝色的深浅与 DNA 的含量呈正相关, 因此, 可以用二苯胺检测 DNA 的粗提取效果[10]。

2.2. 实验材料与仪器

白菜、洋葱、葱、白萝卜、豆芽等植物材料从农贸市场购买, 洗洁精(雕牌)和洗衣粉(奥妙)购自超市, NaCl、95%乙醇、二苯胺显色液、石英砂、蒸馏水、纱布、烧杯、玻璃棒、量筒、研钵、天平、试管等试剂和仪器均为实验室提供。

2.3. 实验设计

2.3.1. 制备 DNA 粗提取液

取一个 100 mL 烧杯, 称取 11.7 g NaCl, 加入 80 mL 蒸馏水, 搅拌均匀后倒入容量瓶中定容到 100 mL, 得到浓度为 2 mol/L 的 NaCl 溶液。

制备不同浓度的洗洁精研磨液: 取三支 50 mL 试管, 编号①②③, 在编号为①的试管中加入 5 mL 洗洁精以及 45 mL 2 mol/L NaCl 溶液搅拌均匀, 在编号为②试管中加入 10 mL 洗洁精以及 40 mL 2 mol/L NaCl 溶液搅拌均匀, 在编号为③的试管中加 15 mL 洗洁精以及 35 mL 2 mol/L NaCl 溶液搅拌均匀, 即得到洗洁精浓度分别为 10%、20% 和 30% 的洗洁精研磨液。

制备不同浓度的洗衣粉研磨液: 取三只 50 mL 烧杯, 编号④⑤⑥, 在编号为④的烧杯中加入 5.84 g NaCl 固体以及 0.25 g 洗衣粉, 用蒸馏水溶解后定容到 50 mL, 在编号为⑤的烧杯中加入 5.84 g NaCl 固体以及 0.5 g 洗衣粉, 用蒸馏水溶解后定容到 50 mL, 在编号为⑥的烧杯中加入 5.84 g NaCl 固体以及 1 g 洗衣粉, 用蒸馏水溶解后定容到 50 mL, 即得到 5 g/L、10 g/L 和 30 g/L 的洗衣粉研磨液。

同时, 以 2 mol/L NaCl 溶液作为对照组。

2.3.2. 研磨

称取 10 g 白菜、洋葱、葱、白萝卜、豆芽, 切碎后按标签依次放入研钵中, 加入少量石英砂, 分别对其进行研磨, 直到研磨至粘稠状态。随后分别加入上述配制的不同 DNA 粗提取液, 继续研磨直至匀浆状态, 待用。

2.3.3. 过滤

取 50 mL 的烧杯, 依次编号, 用双层纱布固定在烧杯上, 将上述研磨液按编号顺序过滤到烧杯中, 得到滤液, 静置几分钟。

2.3.4. 提取

沿烧杯壁向上述滤液中缓缓倒入与滤液等量的 95%酒精溶液, 不要震动或搅拌。静置一分钟, 烧杯中出现丝状沉淀, 即 DNA 粗提物。用玻璃棒朝同一方向缓慢搅拌, 卷起丝状物, 用滤纸吸干表面的液体。

2.3.5. 鉴定

取 10 mL 离心管, 向离心管中各加入 5 mL 2 mol/L 的 NaCl 溶液。将提取出的白色丝状物按顺序加入到离心管中, 搅拌使其溶解, 然后向离心管中各加入 4 mL 二苯胺显色液, 混合均匀, 沸水浴加热 10 min 后, 观察颜色变化。以未加 DNA 粗提取物的 2 mol/L 的 NaCl 溶液作为对照组(CK)。

3. 实验结果与分析

3.1. SDS 法与洗涤剂法提取效果

首先以洋葱作为提取材料, 用教材给定的研磨液与改良研磨液进行 DNA 的粗提取。结果显示, 用洗洁精作为研磨液提取洋葱 DNA 的显色结果均呈很明显的蓝色, 而使用教材研磨液提取 DNA 显色呈浅绿色(图 1、表 1), 且在实验过程中教材研磨液配制方法复杂, 要消耗至少半小时, 试剂危险, 全程需佩戴手套、口罩, 并在通风橱中进行, 中途还需要调 pH, 对仪器设备要求高。而洗涤剂充当研磨液只需要将洗洁精或洗衣粉与 2 mol/L NaCl 溶液混合即可, 方法简单、安全。

Table 1. DNA extraction effect of different detergents

表 1. 不同洗涤剂的 DNA 提取效果

研磨液	配制过程	安全性	显色效果现象
10%洗洁精 + 2 mol/L NaCl	简单、耗时短	高	浅蓝色
SDS	复杂、耗时长	低, 试剂危险	浅绿色

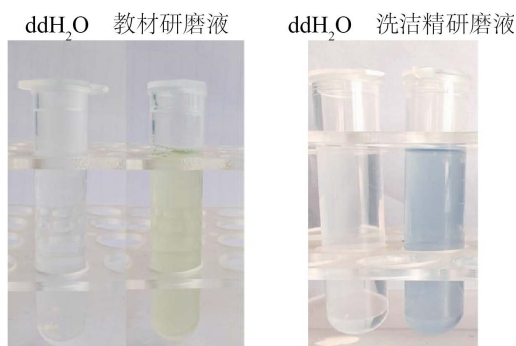


Figure 1. DNA crude extraction effect of onions in textbook grinding liquid and detergent grinding liquid

图 1. 教材研磨液与洗洁精研磨液的洋葱的 DNA 粗提取效果

3.2. 不同种类及浓度洗涤剂提取效果

首先为了探究洗洁精和洗衣粉作为研磨液的 DNA 提取效果, 我们以教材中推荐的洋葱作为材料, 进行了 DNA 粗提取实验。在提取过程中, 我们发现两种研磨液的泡沫量都非常少, 且过滤后的滤液量均大于 10 mL, 表明洗洁精和洗衣粉作为研磨液进行操作不存在操作障碍(表 2)。进一步对提取的 DNA 进行显色反应, 发现氯化钠溶液、洗洁精和洗衣粉分别作为研磨液均可以正常提取出 DNA, 用二苯胺显色后

均呈现蓝色, 且用洗洁精提取的溶液颜色比洗衣粉的颜色更深, 表明洗洁精的实验效果更佳(图 2, 表 2)。

Table 2. DNA extraction effect of different detergents

表 2. 不同洗涤剂的 DNA 提取效果

洗涤剂	泡沫量	滤液量	实验效果	显色现象
洗衣粉	少	>10 ml	好	明显
洗洁精	少	>10 ml	极好	很明显

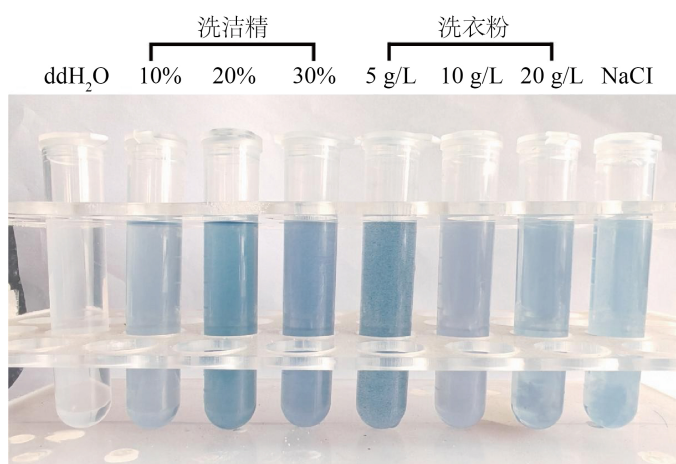


Figure 2. The effect of crude DNA extraction of onions

图 2. 洋葱的 DNA 粗提取效果

3.3. 不同植物材料的 DNA 粗提取效果

尽管洋葱已经有了较好的提取效果, 但选择更多的植物类型, 对于不同地区和教学情况的学校更有参考价值。因此, 本研究同时对市面上常见的豆芽、白萝卜、葱、白菜进行了对比实验。实验结果显示, 用葱粗提取的 DNA 溶液颜色在所有材料中最深, 效果最佳, 且使用 10%洗洁精作为研磨液提取的 DNA 溶液呈现出非常明显的深蓝色(图 3, 表 3)。用白菜提取的 DNA 溶液颜色均为浅蓝色, DNA 提取量和显色效果一般(图 3, 表 3)。白萝卜与豆芽颜色偏浅, 且多偏绿色, 显色效果不佳, 表明 DNA 提取量少且可能含有较多杂质。但用 20%洗洁精提取白萝卜的 DNA 时, 溶液也呈现较深的蓝色(图 3, 表 3)。

Table 3. DNA extraction effect of different materials

表 3. 不同材料的 DNA 提取效果

实验材料	材料成本	实验现象	显色速度	溶液颜色
葱	非常容易, 成本低	量很多, 很容易卷起	极快	深蓝色
洋葱	非常容易, 成本低	量多, 容易卷起	较快	浅蓝色
白菜	很容易, 成本低	量多, 容易卷起	较快	浅蓝色
白萝卜	很容易, 成本低	量较少, 碎絮状沉淀, 难以卷起	慢	蓝绿色
豆芽	很容易, 成本低	量较少, 碎絮状沉淀, 难以卷起	慢	淡蓝绿色

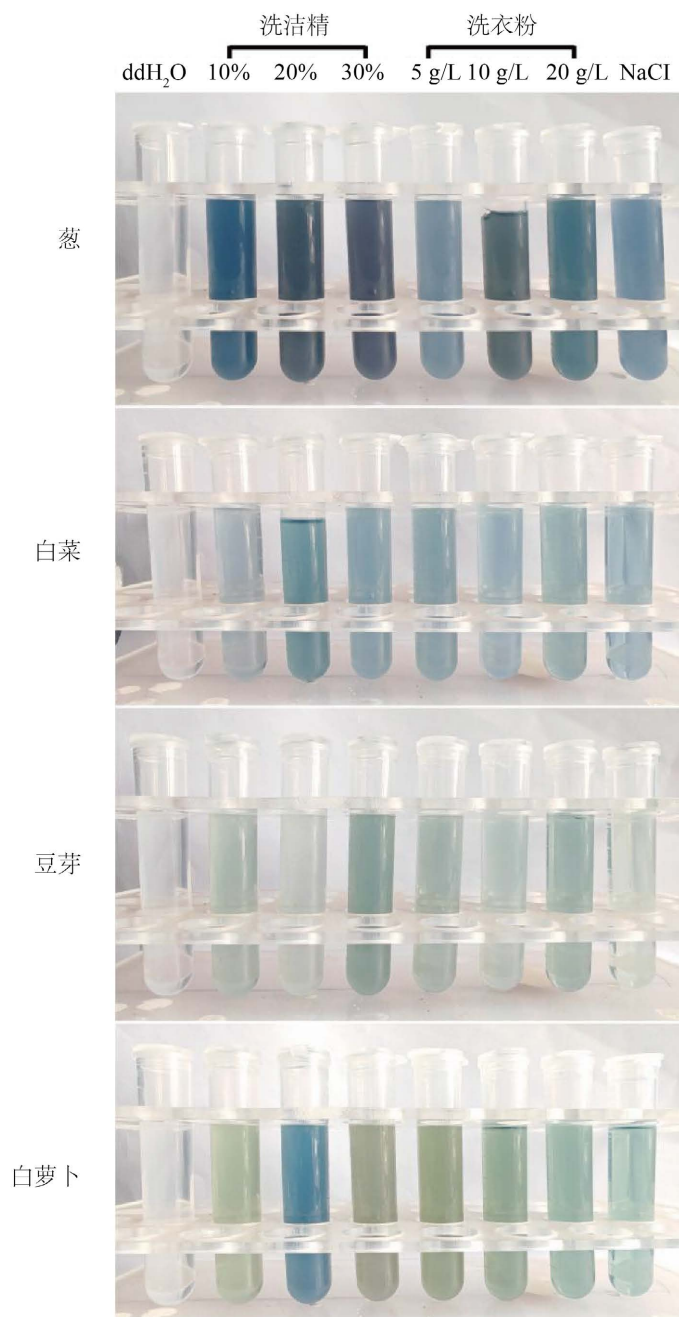


Figure 3. DNA crude extraction effect of different plant materials
图 3. 不同植物材料的 DNA 粗提取效果

4. 讨论

在前人研究中, 已有学者围绕生活化洗涤剂替代专业试剂优化植物 DNA 粗提取实验展开探究, 证实洗洁精、洗衣粉、洗手液等家用清洁产品可替代传统研磨液中的 SDS 类表面活性剂, 有效破碎植物细胞并释放 DNA, 具备良好的实验应用价值。但现有研究仍存在一定局限: 研究虽探究过植物材料与洗涤剂浓度的适配关系, 但实验材料单一, 仅以菜花为研究对象、洗手液为提取试剂, 缺乏多种植物材料与多类型洗涤剂的综合比较, 且未对提取的 DNA 进行显色定性检测。相较于该研究, 本实验选用多种洗涤剂

及不同植物材料开展平行试验, 完善了 DNA 显色鉴定环节, 实验体系更为全面。而前人试验选材范围更广, 涵盖水果材料, 且洗涤剂种类多达 8 种, 包含洗洁精、洗衣粉、洗手液、洗衣液、沐浴露、洗发露、肥皂等, 试验维度更为丰富, 也为本实验后续进一步优化拓展提供了参考方向[3]。

各植物细胞基因组含量、细胞结构、理化性质等的不同会导致 DNA 提取效果不同[11]。葱的薄壁细胞结构疏松, 在研磨过程中细胞很容易被充分破碎, 且基因组含量丰富, DNA 完整性好, 因此 DNA 析出量大、二苯胺显色最深。洋葱基因组大, 但结构组织不易被破碎, 其提取显色效果很好, 但与葱对比其显色效果更弱[12]。白菜基因组含量相对较小, 且不易被破碎, 虽其提取效果稳定, 但显色整体偏浅蓝色。白萝卜的多糖等干扰物质太多, 导致提取出的 DNA 纯度低。豆芽的 DNA 含量很低且含有大量水分和杂质, 进一步降低了 DNA 的提取效果。

本研究虽对洗洁精和洗衣粉进行了浓度梯度试验, 但是表面活性剂物质不同、成分复杂, 且浓度不确定, 因此试验设计的浓度只作为参考, 不具可比性, 且不同品牌的洗洁精或洗衣粉成分有所不同, 本研究中的浓度仅供参考, 仍需进行实验验证。

此外, 本研究也发现, 直接使用 2 mol/L 的 NaCl 溶液作为研磨液, 同样可以成功提取出 DNA, 且二苯胺显色反应也呈现浅蓝色。这是由于该实验对植物材料进行物理研磨破碎, 植物细胞经研磨破碎后, 细胞膜与核膜被破坏, 细胞核内的 DNA 得以释放。2 mol/L NaCl 溶液通过高浓度 Na^+ 中和 DNA 分子磷酸骨架的负电荷, 显著提高 DNA 的溶解度, 使其稳定溶解; 同时高盐环境可促使蛋白质、多糖等杂质发生沉淀, 实现对 DNA 的初步分离与纯化, 释放并溶解的 DNA 在沸水浴加热条件下, 能与二苯胺试剂发生特异性显色反应, 生成蓝色物质。这一发现为实验条件极度有限、无法获取带表面活性剂的研磨液的偏远地区学校提供了全新的解决方案, 进一步拓展了 DNA 粗提取实验的可实施性。

综上所述, 本研究对教材中的研磨液配方进行了改进和替换, 所用的洗洁精与洗衣粉易获得、成本低、且安全, 不需要各种危险的化学试剂也可以进行该实验, 能有效替代课本中的试剂, 且显色效果更好; 所选植物材料也易于获取, 成本低廉, 非常适用于中学的实验教学开展。

致 谢

感谢对本研究提供建议和支持的所有人。

基金项目

乐山市科技计划项目(24YYJC0021), 乐山师范学院校级科研培育项目(KYPY2024-0011)。

参考文献

- [1] 张边江, 杨一帆, 陈家旭, 等. 核心素养视阈下的“DNA 的粗提取和鉴定”实验创新与科学思维培养[C]//江苏省教育学会. 2019 年江苏省教育学会学术年会论文集. 南京: 南京晓庄学院中学生物教学研究所, 2019: 71-78.
- [2] 中华人民共和国教育部. 普通高中生物学课程标准(2017 年版 2020 年修订)[M]. 北京: 人民教育出版社, 2020.
- [3] 欧阳威, 李春辉, 朱乃姮, 等. 利用洗涤剂进行 DNA 粗提取实验的探究[J]. 生物学教学, 2021, 46(12): 49-51.
- [4] 人民教育出版社课程教材研究所, 生物课程教材研究开发中心. 普通高中教科书-生物学选择性必修 3-生物技术与工程[M]. 北京: 人民教育出版社, 2019: 74-75, 117.
- [5] 陈清香, 吕军仪. 表面活性剂十二烷基苯磺酸钠(SDBS)和十二烷基磺酸钠(SDS)对安氏伪镖水蚤的急性毒性研究[J]. 生态毒理学报, 2010, 5(1): 76-82.
- [6] 陈彦飞. “DNA 的粗提取和鉴定”实验的改进与拓展[J]. 中学生物教学, 2024(26): 67-69.
- [7] 梁玮. “DNA 的粗提取与鉴定”实验改进[J]. 中学生物教学, 2018(19): 39-40.
- [8] 张晓娟. “DNA 粗提取和鉴定”实验设计与改进[J]. 生物学教学, 2024, 49(2): 40-42.

- [9] 王刚, 高燕妮. “DNA 的粗提取与鉴定”实验设计及创新分析[J]. 中学生物教学, 2022(12): 69-70.
- [10] Cheng, C., Yi, J., Wang, R., Cheng, L., Wang, Z. and Lu, W. (2018) Protection of Spleen Tissue of γ -Ray Irradiated Mice against Immunosuppressive and Oxidative Effects of Radiation by Adenosine 5'-Monophosphate. *International Journal of Molecular Sciences*, **19**, Article No. 1273. <https://doi.org/10.3390/ijms19051273>
- [11] 刘佳琪, 田华, 周初霞. “DNA 的粗提取和鉴定”实验创新[J]. 中学生物学, 2026, 42(1): 46-49.
- [12] 王宁, 韩宛妍, 林辰壹. 3 种葱属植物的基因组大小及染色体倍性测定[J]. 种子, 2025, 44(2): 87-94.