

DOI:10.3724/SP.J.1008.2009.01065

基于色度学方法的辐射剂量学研究

姜昊,李智恒,李雨*

第二军医大学海军医学系放射医学教研室,上海 200433

[摘要] **目的:**尝试使用色度学原理技术进行液体辐射变色剂量学研究。**方法:**配制 500、250 和 150 mg/L 不同浓度的酸性湖蓝 A 试剂水溶液,常温下进行 1.5~13.5 kGy 不同剂量的 γ 射线照射,照后即刻使用三基色色度测试装置,测定记录采集样品的三基色色量值变化,进行统计学处理,分析绘图,并进行平行样品重复测试。在夏季室温条件下存放两周后重复上述操作,配对 *t* 检验进行统计学分析。**结果:**随着试剂浓度及照射剂量的改变,红绿蓝三基色色度出现了明显的特征性变化,对于 500 mg/L 实验组来说,其中红色色度值随着辐射剂量增加而逐渐上升(80~360),蓝色色度值随着辐射剂量增加而逐渐下降(580~250),红蓝两色色度值呈明显的此消彼长关系,与红蓝两色相比较,绿色色度随辐射剂量变化的幅度较小(270~320)。尽管各实验组颜色变化趋势类似,但溶液浓度和照射剂量是决定能否获得理想三基色数据的主要因素,较低浓度溶液的颜色变化在较小辐射吸收剂量范围明显。将实验样品在夏季常温环境放置两周前后检测结果没有明显变化。**结论:**将电离辐射变色现象与色度分析技术结合,可能提供一种新的剂量学研究方法对辐射变色物质进行更方便的研究。

[关键词] 色度;酸性湖蓝 A;辐射吸收剂量

[中图分类号] X 132 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 0258-879X(2009)09-1065-04

Study on radiation dose based on chrominance

JIANG Hao, LI Zhi-heng, LI Yu*

Department of Radiation, Faculty of Navy Medicine, Second Military Medical University, Shanghai 200433, China

[ABSTRACT] **Objective:** To set up a new measurement method for radiation absorbed dose by using chrominance technology. **Methods:** The changes of trichromatic values were measured using color analysis technique after different concentrations of alphasaurine A aqueous solutions (500 mg/L, 250 mg/L, and 150 mg/L) were irradiated with 1.5-13.5 kGy doses of γ -rays at room temperature. Immediately after irradiation, the trichromatic color testing device was used to determine the trichromatic color changes of the samples for further statistical processing, analysis, and mapping. Repeated measurements were obtained with the test samples. The samples was stored at room temperature of summer for two weeks and the above protocol was repeated. Paired *t*-test was used for statistical analysis. **Results:** The trichromatic red-green-blue color underwent evident changes with the changes of reagent concentrations and absorbed doses. There was a gradual increment of absorption value(80-360) of the red color with the increment of absorbed dose in 500 mg/L group; meanwhile, there was a decrement of absorption value(580-250) of blue color with the increment of absorbed dose, which showed that the changing trend of the red color and blue color was on contrary. Compared with the red and blue, the absorption value of green color underwent a slighter change(270-320) with the increment of absorbed doses. Despite a similar color change trend in all the experimental groups, the solution concentration and the radiation dose were the main factor for ideal trichromatic data. The change of color in the solution of lower concentration was greater within a smaller range of absorption dose. Temperature had little influence on the measuring results after the irradiated samples were kept for two weeks at the room temperature in the summer($P>0.05$). **Conclusion:** Ionizing radiation-induced color change combined with chrominance technique may provide a new convenient method for studying radiation absorbed dose.

[KEY WORDS] chrominance; alphasaurine A; radiation absorbed dose

[Acad J Sec Mil Med Univ, 2009, 30(9):1065-1068]

辐射剂量学是国防建设和发展国民经济重要的
质量控制手段,我国辐射剂量学随着辐射加工业的

兴起有了迅速发展。然而辐射剂量学在我国是一个
相对新兴的专业领域,原创的技术方法并不多。研

[收稿日期] 2009-03-17 **[接受日期]** 2009-07-27

[作者简介] 姜昊,助理实验师, E-mail: dyaskydog@163.com

* 通讯作者(Corresponding author). Tel: 021-81871151, E-mail: smmuliyu@163.com

究出实用、简单、快速测定和较为准确可靠的剂量测量体系,是我国辐射研究和辐照加工行业需要解决的一项重要任务^[1]。随着我国改革开放不断发展,一些新型技术在各行各业得到应用,印染废水采用辐射技术降解可获得较好处理效果,提示我们有可能以此开展一些辐射吸收剂量学研究。本研究利用一种快速三基色色度测量技术,尝试对一种化工染料——酸性湖蓝 A(alphaurine A, Acid Blue 7, Acid Lake Blue A)水溶液在辐射下的脱色现象开展吸收剂量与色度的相关性研究,探索作为辐射吸收剂量计的可能性。

1 材料和方法

1.1 主要试剂及仪器 超纯水取自 Milli-Q Academic 基础应用型超纯水机,美国 Millipore 公司生产。电子分析天平,GB204 型,瑞典 METTLER TOLEDO。三基色色度测量仪器,郑州沃特测试技术有限公司提供。染料酸性湖蓝 A, CAS 号: 3486-30-4, 由国药集团上海化学试剂有限公司提供,其结构式如图 1。

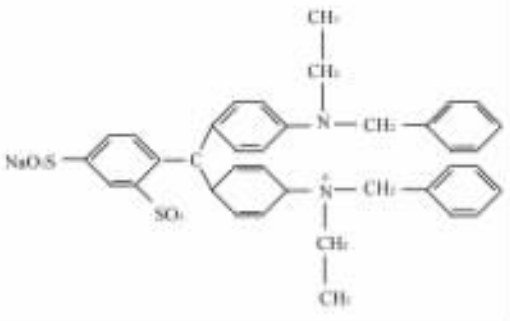


图 1 染料酸性湖蓝 A 的结构式
Fig 1 Structure of alphaurine A

1.2 辐照装置 辐照钴源,第二军医大学海军医学系辐照中心,源活度 5.55×10^{15} Bq,动态照射,照射平均剂量率为 20 Gy/min。

1.3 实验步骤 按照实验设计,用电子分析天平称取不同量酸性湖蓝 A,用 Millipore 水精确配制 500、250 和 150 mg/L 不同浓度的水溶液,各取 5 ml 置于 10 ml 聚乙烯塑料离心管中密闭,常温下进行 1.5~13.5 kGy 不同吸收剂量的 γ 射线照射。在照后即刻使用三基色色度测试装置。测定记录采集样品的三基色色量值变化,进行统计学处理,分析绘图,并进行平行样品重复测试。观察 alphaurine A 实验样品受温度和时间变化的影响,在夏季室温条件下(白天阳光直射,环境温度 25~35℃)存放 2 周后重复上述操作。

1.4 统计学处理 采用 SAS 9.1.3 软件进行配对 *t* 检验。

2 结果

图 2A 显示 500 mg/L 溶液的实验结果。在实验剂量范围内随照射剂量增加,红色(R)色度值强度逐渐增加,色度值与辐射吸收剂量呈线性趋势;绿色(G)强度值在受照射剂量范围内的变化不明显;蓝色(B)强度值逐渐下降,与红色呈相反趋势变化。直线回归方程: $R = 94.57 + 19.95 \text{ dose}$, $F = 978.55$, $P < 0.0001$, 判定系数 $R^2 = 0.9919$, 调整判定系数 $R^2_{\text{adj}} = 0.9909$; $G = 355.87 + 5.16 \text{ dose}$, $F = 48.75$, $P < 0.0001$, 判定系数 $R^2 = 0.8590$, 调整判定系数 $R^2_{\text{adj}} = 0.8414$; $B = 572.12 - 25.13 \text{ dose}$, $F = 1031.78$, $P < 0.0001$, 判定系数 $R^2 = 0.9923$, 调整判定系数 $R^2_{\text{adj}} = 0.9913$ 。

图 2B 显示 250 mg/L 溶液的实验结果。随照射剂量增加,R 强度值逐渐增加,但在照射吸收剂量高于 6 kGy 后,R 增大趋势变缓,接近水平线;G 强度值变化不明显;B 强度值随照射剂量逐渐下降,但在照射吸收剂量高于 6 kGy 以后 B 下降趋势变缓,接近水平。直线回归方程: $R = 144.53 + 21.18 \text{ dose}$, 回归模型: $F = 37.88$, $P = 0.0003$, 判定系数 $R^2 = 0.8256$, 调整判定系数 $R^2_{\text{adj}} = 0.8038$ 。指数曲线回归方程: $G = \exp(6.01 + 0.0009 \text{ dose})$, 回归模型: $F = 22806.4$, $P < 0.0001$ 。指数曲线回归方程: $B = \exp(6.22 - 0.0729 \text{ dose})$ 回归模型: $F = 452.45$, $P < 0.0001$ 。

图 2C 显示 150 mg/L 溶液实验结果。随照射吸收剂量增加,R 强度值逐渐增加,但在照射吸收剂量高于 3 kGy 以后 R 增大趋势变缓接近水平;G 强度值变化不明显;B 强度值逐渐下降,也是在照射吸收剂量高于 3 kGy 以后下降趋势变缓接近水平变化。指数曲线回归方程: $R = \exp(5.57 + 0.03 \text{ dose})$, 回归模型: $F = 110.86$, $P < 0.0001$ 。指数曲线回归方程: $G = \exp(6.04 - 0.003 \text{ dose})$ 回归模型: $F = 14351.6$, $P < 0.0001$ 。指数曲线回归方程: $B = \exp(5.90 - 0.039 \text{ dose})$, 回归模型: $F = 127.20$, $P < 0.0001$ 。

将上述测定过实验浓度为 250 mg/L 酸性湖蓝溶液的的实验样品在夏季常温环境(白天阳光直射,平均气温 30℃)放置 2 周。再次测量溶液三色色度值变化(图 2D)。对 250 mg/L 溶液三基色色度值 2 周前后 R、G、B 色度值做配对 *t* 检验统计学分析,均得出 $P > 0.05$,没有统计学差异,可认为夏季气温存放

2周对实验结果没有明显影响。

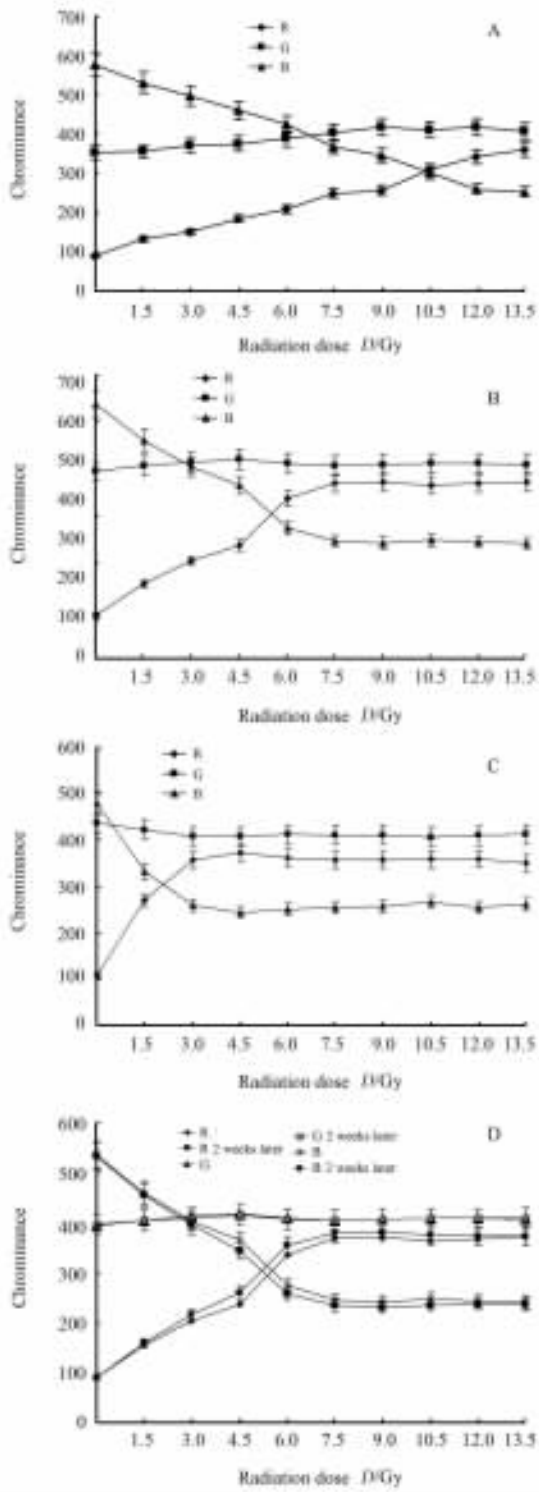


图2 酸性湖蓝A溶液红绿蓝(RGB)色度值变化与 ^{60}Co γ 射线剂量关系

Fig 2 Three color (red, green, and blue) chrominance changes with different absorbed doses of ^{60}Co γ -rays in aqueous solutions of alphaurine A

A: 500 mg/L alphaurine A; B: 250 mg/L alphaurine A; C: 150 mg/L alphaurine A; D: 250 mg/L alphaurine A determined at once and two weeks later after irradiation. $n=6, \bar{x} \pm s$

3 讨论

目前常用的重铬酸钾、亚铁和硫酸铈化学剂量计覆盖了部分剂量测量范围;其测量体系是以分光光度分析法为基础。化学剂量计样品制备和分析测量过程比较严格、严峻,且样品测定需恒温装置,对于初操作者来说较难掌握,且必须与剂量权威部门进行剂量测定比对,所以往往难以达到预期的测量精度^[2]。

酸性染料在辐射场下的脱色现象是环保行业十分关注的一种现象^[3],但是少有人把这一现象当作辐射剂量剂进行研究。酸性染料的脱色机制有两种,一种是水辐解生成的羟自由基,羟自由基的产额与辐射剂量成正比,大部分化学剂量计都是根据这一原理发展起来的;还有一种即水辐解产生的水合电子,它也能使酸性红脱色,但是以水合电子作化学剂量计对水质和辐照环境要求非常高,即使痕量有机物或三价铁离子都会对测得的剂量产生大的误差。同时空气中的氧气会以扩散控制速率与水合电子反应。假如使用酸性染料和水合电子反应脱色,则对辐射剂量计的辐照样品管的脱氧要求非常高,在实际测定中几乎很难实现。

近年发展的隐色的三苯基甲烷染料衍生物会发生辐射变色反应。由此形成的变色体系即辐射变色膜(radiochromic film, RCF)产品系列具有线性响应吸收剂量的特点^[4],可用于测量各种辐射源的剂量,但这是一种依据目测进行的半定量测定方法。

计算机技术进行三基色数据分析在相关行业得到越来越广泛的应用^[5],我们从辐射脱色现象得到启示,使用不同剂量的 ^{60}Co γ 射线照射多种呈色化合物,发现酸性湖蓝A溶液在数千Gy照射剂量范围内,按照深蓝-紫浅蓝-橙黄颜色次序发生变化。这样纷杂的不同颜色变化应用经典的分光光度计手段不易进行探测,但是我们使用特殊的色度分析装置可迅速获取大量三基色变化的信息,该测量仪器工作原理是:光线发射器发出一束全谱白光,经过测试管中的被测液体后进入光线接收器,将光线信号转换成三路分别代表红、绿、蓝三基色光强的电压信号,进入模数转换器的模数转换输入入口,变成数字信号,进入微处理器处理后得出被测液体的各种参数,通过显示器显示出来。分析试验结果如下:

(1)溶液浓度和照射剂量是决定能否获得理想三基色数据的主要因素。综合分析3种样品浓度的变化及各浓度时的最佳监测剂量可以发现,在采用的1.5~13.5 kGy照射剂量范围内,500 mg/L溶液

红蓝色色度的剂量效应关系具有较好的线性关系。在实验剂量范围内随照射剂量增加,红色(R)色度值与辐射吸收剂量呈线性增加趋势;蓝色(B)强度值随照射吸收剂量增加而线性下降,且各个剂量点色度值之间均有显著性差异。与红蓝色度变化相比,绿色(G)色度值在照射吸收剂量范围内变化不明显。

(2)250 mg/L 和 150 mg/L 浓度实验组,在上述照射剂量范围红色(R)色度值和蓝色(B)色度值在较低剂量范围也会出现同样明显的趋势变化,但是随着照射剂量继续增加会逐渐趋于恒定。这个变化的拐点剂量分别在 6 kGy 和 3 kGy,意味着较低浓度的溶液在大剂量照射时三基色色度变化不成线性。

(3)该颜色变化可能涉及辐射导致物质的特殊发色基团变化,尚有许多机制有待探讨。

(4)实验数据显示,较低浓度溶液的颜色变化在较小辐射吸收剂量范围明显,推断更低浓度酸性湖蓝 A 可能与更低辐射剂量也有着类似的量效关系,具体测量下限、测量精度以及适用测定范围需要深入探索。

本研究初步应用三基色色度分析方法研究了酸性湖蓝 A 溶液辐射剂量学效应,观察到一些令人感兴趣的现象。实验提示,该方法可以分析辐射所导致的剂量计复杂色彩变化,方法简便快速,可以设想将电离辐射变色现象与新型色谱分析技术结合探索新的辐射计量学。

[参考文献]

- [1] 程 昶. 辐射测量仪器的进展[J]. 辐射防护通讯,2000,20:48-51.
- [2] 李乃宁. 辐射加工常用液体化学剂量计的基本特点[J]. 核农学通报,1995,16:152-156.
- [3] 王 敏,杨睿媛,王文锋,沈忠群,边绍伟. 染料水溶液的辐射降解研究[J]. 辐射研究与辐射工艺学报,2005,23:120.
- [4] Cheung T, Butson M J, Yu P K. X-ray energy dependence of the dose response of SIRAD radiation dosimeters[J]. Appl Rad Isotopes,2007,65:814-817.
- [5] 刘金桥,王春耀,吴金强,刘 跃,张 强. 基于 LabVIEW 和 IMAQ Vision 的农产品颜色识别研究[J]. 农机化研究,2009,31:50-53.

[本文编辑] 尹 茶

· 书 讯 ·

《肾脏肿瘤家庭防治手册》已出版

本书由叶定伟主编,第二军医大学出版社出版,ISBN 978-7-81060-695-0,32开,定价:23.00元。

随着现代医学的不断进步,肾癌已成为现代肿瘤学中最具有治疗意义和挑战性的一个分支。现在,人们能够更规范、有效地治疗肾癌,并且治疗的相关副作用也有所降低,但治疗的复杂性也比以往大大提高了。作为长期专门从事肾癌诊治的泌尿肿瘤专科医生,有责任让人们对该病有较全面和深入的了解。因此,编者结合多年的专科临床经验,以深入浅出的方式编撰此书,奉献给广大肾癌患者及家属。

本书旨在向广大患者及家属提供有关肾癌的基本信息,并使患者能够真正理解自己所患的疾病。本书涵盖了肾癌的发生原因、诊断、治疗以及预防保健等内容,采用简单的问答形式逐步深入展开,能够使患者在了解和掌握肾癌相关信息的基础上,逐步解决与自身密切相关的实际问题。本书尽可能地以通俗语言叙述专深的医学知识,让患者对肾脏肿瘤疾病做到“知己知彼”。内容包括:肾脏肿瘤的基础知识、诊断、评估、治疗和该患者的随访与保健。本书适合肾脏肿瘤的患者和家属以及对肾脏肿瘤感兴趣的读者阅读。

通讯地址:上海市翔殷路 800 号,邮编:200433

邮购电话:021-65344595 65493093

http://www.smmup.cn