

利用近红外扩散相关谱同时测量 生物样品光学特性和动态特性

王德田*, 吕恒星, 高鹏, 李生福, 朱礼国, 彭其先, 李泽仁, 赵剑衡
(中国工程物理研究院流体物理研究所 物理与生物医学交叉实验室, 四川 绵阳 621900)

摘要: 由于近红外光对于大多数生物样品具有较高的穿透深度, 因此近红外光谱技术广泛用于生物医学、化工、食品安全以及农产品等领域的无损检测, 但是多局限于生物样品的光学性质测量, 即光吸收测量。利用最新研制的近红外光扩散相关谱系统和采用脂肪乳作为生物样品的替代物, 同时测量了国产 30% 脂肪乳的光学特性和动态特性, 约化散射系数约为 303 cm^{-1} , 吸收系数约为 0.037 cm^{-1} , 30% 脂肪乳稀释为 0.85% (体积比) 浓度后的布朗扩散系数约为 $8.40 \times 10^{-9} \text{ cm}^2/\text{s}$, 根据 Stokes-Einstein 关系可推算出脂肪乳的颗粒半径约为 253 nm; 研究了脂肪乳随时间演化特性, 在七天时间内约化散射系数上升 106%, 布朗扩散系数下降到 63%, 研究表明利用近红外扩散相关谱系统的光强衰减可以获得生物样品的光学特性(约化散射系数和吸收系数), 利用光强随时间的波动可以获得生物样品的动态特性(布朗扩散系数), 因此能够更加准确的测量生物样品的性质变化, 为生物样品检测提供一种新的技术手段。

关键词: 光学; 近红外光谱; 近红外扩散相关谱; 布朗扩散系数; 吸收系数; 约化散射系数

中图分类号: O43 **文献标识码:** A

The optical properties and dynamical property of biological sample determined simultaneously by diffuse correlation spectroscopy

WANG De-Tian*, LYU Heng-Xing, GAO Peng, LI Sheng-Fu, ZHU Li-Guo, PENG Qi-Xian, LI Ze-Ren, ZHAO Jian-Heng

(Interdisciplinary Laboratory of Physics and Biomedicine, Institute of Fluid Physics, China Academy of Engineering Physics, Mianyang 621900, China)

Abstract: Near-infrared spectroscopy is a promising method to monitor the characteristics of biological samples noninvasively in biomedical field, food safety field, agricultural field, etc. But most studies focus on the measurement of optical properties of biological samples in these fields. Utilizing the latest developed diffuse correlation spectroscopy device and 30% intralipid as the phantom of biological sample, we demonstrated how to obtain both of the optical properties and dynamical property of 30% intralipid. The absorption coefficient and reduced scattering coefficient of 30% intralipid are 0.037 cm^{-1} and 303 cm^{-1} respectively. The Brownian diffusion coefficient of the diluted 30% intralipid (0.85%, volume/volume) is $8.40 \times 10^{-9} \text{ cm}^2/\text{s}$ and the radius of intralipid particle is about 253 nm deduced by Stokes-Einstein relation. The stability of the diluted 30% intralipid was also studied. The scattering coefficient increases by 106% and the Brownian diffusion coefficient decreases by 63% for seven days. This study suggests that diffuse correlation spectroscopy can not only measure the optical properties but also measure the dynamical property of biological sample, which may be a powerful tool in biomedical field, food safety field, agricultural field, etc.

收稿日期:2018-04-11, 修回日期:2019-02-18

Received date: 2018-04-11, revised date: 2019-02-18

基金项目:国家重点研发计划(2017YFC1200400), 国家自然科学基金(11604316), 中国工程物理研究院流体研究所物理与生物医学交叉实验室孵化基金(054160)

Foundation items: The National Key Technology R&D Program of China (2017YFC1200400), The National Natural Science Foundation of China (11604316), The Foundation of Interdisciplinary Laboratory of Physics and Biomedicine at Institute of Fluid Physics(054160)

作者简介(Biography): 王德田(1984-), 男, 湖北老河口人, 博士, 主要进行脑疾病的无创近红外光诊断技术以及光纤传感技术研究

* 通讯作者(Corresponding author): E-mail: wdt_abcd.163.com

Key words: near infrared spectroscopy, diffuse correlation correlation spectroscopy, brownian diffusion coefficient, absorption coefficient, reduced scattering coefficient

PACS: 42. 62. Fi, 25. 20. Dc, 33. 15. Vb, 11. 80. La

引言

生物样品检测具有非常广泛的用途,例如生物医学中生物组织检测、化工材料检测、食品安全检测、农业育种检测以及农产品检测等.由于近红外光(650~950 nm)在生物样品具有较弱的吸收和较深的穿透深度,因此可以实现生物样品内部的无创检测.目前通常采用近红外光谱(NIRS)技术检测生物样品,获得不同波长的吸收系数从而反演生物样品的组分以及浓度.但是生物样品的动态特性,例如血流量的大小、微生物的活跃程度等,研究相对较少.1995年 David A Boas 开始利用多重动态散射测量生物组织的血流量研究^[1],称为近红外扩散相关谱(diffuse correlation spectroscopy, DCS)^[2,3],目前正在开始临床应用研究. Chaebecom Yen 等利用该技术开展了禽类胚胎血流量的测量,获得了整个孵化过程中鸡蛋胚胎的血流量变化^[4].由于近红外光在生物样品传输存在强烈的散射,因此近红外光在生物样品的传输可以类似于在强散射混沌介质中传输,利用吸收系数和约化散射系数进行表述^[5].脂肪乳是常见的强散射混沌介质模拟物,正成为近红外扩散光学研究中的标准样品^[6],用来标定各种近红外扩散光学系统等.目前来自 Fresenius Kabi AG 公司的脂肪乳光学特性得到了大量的研究^[7-9],例如脂肪乳的微观特性^[10-12]、温度依赖性^[13,14]、袋与袋之间的差异性^[15]、分层特性^[16]等.但是国产脂肪乳的性质研究相对较少,利用近红外扩散相关谱系统测量了国产脂肪乳的光学特性、动态特性以及时间稳定性.

采用最新研制的近红外扩散相关谱系统^[17],并利用国产脂肪乳作为生物样品的替代物,获得了30%浓度脂肪乳的约化散射系数为 303 cm^{-1} ,吸收系数约为 0.037 cm^{-1} ,30%脂肪乳稀释为0.85%(体积比)浓度后的布朗扩散系数约为 $8.40 \times 10^{-9}\text{ cm}^2/\text{s}$.布朗扩散系数描述的是布朗运动下运动粒子的动态扩散特性.根据 Stokes-Einstein 关系进一步推算出脂肪乳的颗粒半径大约为253 nm;研究了脂肪乳的时间稳定性,在七天时间里稀释为0.85%(体积比)浓度的脂肪乳约化散射系数上升106%,布朗扩散系数下降了63%.因此利用近红外扩散相

关谱系统的光强衰减可以获得生物样品的光学特性,利用光强的时间波动可以获得生物样品的动态特性,能够更加准确的测量生物样品的变化,为生物样品检测提供一种新的检测手段,例如检测肉制品质量、水果成熟度、牛奶质量控制以及禽类胚胎发育等.

1 模拟方法

在生物样品中普遍存在的运动散射颗粒(例如红细胞、微生物等)会造成近红外相干散射光场的相位变化,因此相位变化的快慢程度能够反映生物样品内部散射颗粒的动态特性.利用散射光场互相关来描述散射光场的相位变化,散射光场的互相关遵循和近红外扩散方程类似的相关谱扩散方程^[1,2].在无限扩散模型,光强自相关函数为

$$G_1(\rho, \tau) = \frac{3 \cdot S \cdot \mu_s'}{4\pi} \frac{\exp\left(-\sqrt{3\mu_a\mu_s' + 6k_0^2\mu_s' D_B\tau} \cdot \rho\right)}{\rho} \quad (1)$$

其中 $G_1(\rho, \tau) = \langle E^*(\rho, t) E(\rho, t + \tau) \rangle$ 表示光场自相关; $E(\rho, t + \tau)$ 表示位于 ρ 处 $t + \tau$ 时刻的光场强度, $E^*(\rho, t)$ 表示位于 ρ 处 t 时刻的光场强度复共轭; S 表示各向同性光源的总发射功率; μ_a 表示吸收系数; μ_s' 表示约化散射系数; k_0 表示波矢; D_B 表示布朗扩散系数,能够表征强散射介质的动态特性; τ 表示时间延迟,时间延迟越大,相关强度越小; ρ 表示源和探测器的间距.

实际测量的是归一化光强自相关,即

$$g_2(\tau) = \langle I(t) I(t + \tau) \rangle / \langle I(t) \rangle^2 \quad (2)$$

这里的 $I(t)$ 表示光强度,归一化光强自相关和归一化光场自相关之间具有 Siegert 关系,即

$$g_2(\tau) = 1 + \beta |g_1(\tau)|^2 \quad (3)$$

其中 β 是一个常数,取决光学收集系统和光源特性. $g_1(\tau) = G_1(\tau)/G_1(0)$ 是归一化光场自相关.通过拟合归一化光强自相关曲线便可以得到 β 和 D_B .

当 $\tau = 0$, 可知 $G_1 = I$, 等式(1)简化成等式(4), 等式(4)和近红外连续光在无限强散射介质传输等式是一样的^[2],

$$I(\rho) = \frac{3 \cdot S \cdot \mu_s'}{4\pi} \frac{\exp\left(-\sqrt{3\mu_a\mu_s'} \cdot \rho\right)}{\rho} \quad (4)$$

因此通过测量不同距离的光强衰减便可以获得生物样品有效衰减系数 μ_{eff} , 有效衰减系数是 $\ln(\rho \cdot I)$ 与 ρ 的线性斜率, 与吸收系数和约化散射系数有关,

$$\mu_{eff} = \sqrt{3\mu_a \cdot \mu_s'} = \frac{d(\ln(\rho \cdot I))}{d\rho} \quad (5)$$

为了进一步分离吸收和约化散射系数, 采用滴定法逐步改变脂肪乳浓度的方法, 通过拟合方法得到吸收和约化散射系数^[11]. 设 30% 脂肪乳的约化散射系数为 μ_{sil}' , 吸收系数为 μ_{oil} , 水的吸收系数为 μ_{aH_2O} , 水的约化散射系数为 0, 脂肪乳的体积浓度为 γ_{il} (体积比), 则约化散射系数与脂肪乳体积浓度成正比,

$$\mu_s' = \mu_{sil}' \cdot \gamma_{il} \quad (6)$$

吸收系数与脂肪乳体积浓度和水的体积比成正比, 即

$$\mu_a = \mu_{oil} \cdot \gamma_{il} + \mu_{aH_2O} \cdot (1 - \gamma_{il}) \quad (7)$$

根据等式(5)可得

$$\mu_{eff}^2(\gamma_{il}) = 3\mu_{sil}'\mu_{aH_2O}\gamma_{il} + 3\mu_{sil}'(\mu_{oil} - \mu_{aH_2O})\mu_{aH_2O}\gamma_{il}^2 \quad (8)$$

利用 <http://omlc.org/spectra/index.html> 网站上水的吸收系数, 这里取水的吸收系数为 0.0213 cm^{-1} , 通过等式(8)既可以获得脂肪乳的吸收和约化散射系数.

2 实验系统

传统的近红外扩散相关谱系统采用硬件相关器实现了光强的自相关计算, 计算机只是存储和显示自相关数据, 成本相对昂贵. 研制了新型的近红外扩散相关谱系统^[17], 利用计数器对光子数进行采样, 利用计算机实现光强自相关计算, 由长相干激光器 (波长 785 nm, 相干长度大于 5 m, 功率为 80 mW), 多模光纤 (62.5 $\mu\text{m}/125 \mu\text{m}$), 单模光纤 (780-HP, Nufem), 单光子探测器 (SPCM-AQRH-FC), 计数器 (PCI-6612, NI) 以及计算机系统构成, 如图 1 所示. 激光通过多模光纤入射的强散射混沌介质中; 单模光纤收集来自强散射混沌介质散射的激光散斑; 单光子探测器把微弱的光信号转化为电脉冲信号; 计数器完成电脉冲信号的采样; 计算机计算光强相关并记录相关曲线, 数据的采集和处理利用 Labview 程序实现. 激光入射到强散射混沌介质中会遭遇多次散射, 介质中散射粒子的运动会造成单模光纤接收的激光散斑光强变化, 通过光强的归一化自相关

来描述光强变化的程度, 从而实现介质内部动态特性的测量, 即布朗扩散系数. 在生物组织中, 动态特性与血流量密切相关.

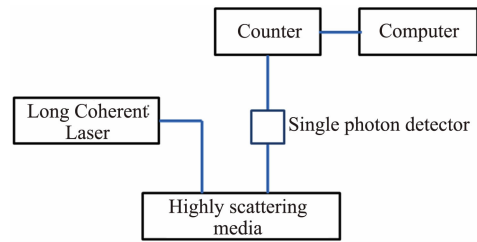


图 1 近红外扩散相关谱系统

Fig. 1 The schematic setup of diffuse correlation spectroscopy

计数器采样频率 f_s 为 5 MHz, 相关时间分别为

$$\sum_{M=1}^9 \sum_{N=0}^7 8 + N \cdot 2^N \cdot (1/f_s) \text{ 和 } \sum_{M=0}^6 \sum_{N=0}^7 N \cdot 2^N \cdot (1/f_s),$$

其中 M, N 表示整数, 共包括 88 个相关时间, 从 0 μs 到 1 ms. 相关曲线的获取频率为 20 Hz. 由于采用软件实现相关计算, 因此相关时间和相关曲线的计算速率都可以灵活设置. 30% 脂肪乳来自四川科伦药业, 每 250 ml 脂肪乳包含 75 g 豆油和 3 g 卵磷脂, 其中豆油为散射介质. 容器的尺寸为 40 cm \times 24 cm \times 29 cm, 其中添加的纯净水为 27.604 L, 30% 脂肪乳的体积分别为 0.236 L, 0.404 L, 0.572 L, 0.740 L, 0.908 L, 对应的体积浓度分别为 0.85%, 1.44%, 2.03%, 2.63%, 3.18%, 不同的脂肪乳浓度具有不同的约化散射系数.

利用平移台调节源和探测器的间距, 每个间距下测量 1 分钟, 光强和归一化自相关曲线为 1 分钟时间的平均值. 为了能够准确获取源和探测器间距, 在升降台上放置容器, 利用升降台控制容器高度, 先降低升降台, 测量每次平移台移动时源和探测器的实际间距, 然后升高升降台, 使源和探测光纤浸入强散射混沌介质中 6 cm 深处, 从而保证满足无限模型下的光扩散条件, 如图 2 所示. 实验中采用黑布覆盖容器防止外来光的干扰. 整个实验期间温度保持在 293 K.

3 实验结果

3.1 利用光强衰减测量脂肪乳的吸收和约化散射系数

图 3 给出了不同浓度脂肪乳下, $\ln(I * \rho)$ (纵坐标) 随 ρ (横坐标) 变化情况, I 表示光强, ρ 表示源和探测器间距, $*$ 表示乘积符号, 可以发现源和探测

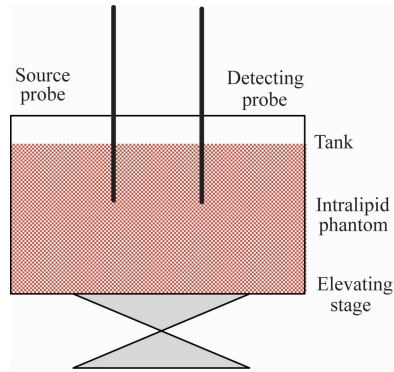


图2 实验示意图
Fig. 2 The sketch of experiment setup

器间距过小的时候,线性程度并不好,但是随着源和探测器间距的增加,线性程度趋于理想,这是因为源和探测器间距过小时,一方面扩散条件不能很好的满足;另外探测器探测的光子数过多(趋于饱和),导致的光强测量误差增加. 利用线性拟合可以获得有效衰减系数(纵坐标)随30%脂肪乳体积浓度(横坐标)的变化, γ_{il} 表示30%脂肪乳的体积浓度,红线为拟合曲线,拟合的标准偏差为0.009,其中拟合范围为光功率从50 keps到500 keps, keps表示每秒钟探测的每千光子数,如图3所示.

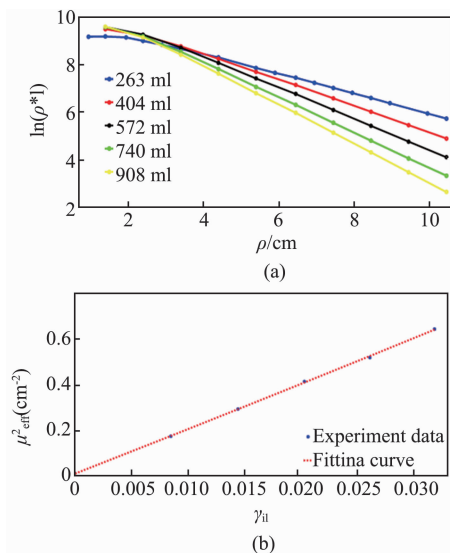


图3 光强在不同脂肪乳浓度下随着源和探测器间距的衰减和有效衰减系数平方随脂肪乳浓度的变化
Fig. 3 The optical intensity versus optode's separation and the effective attenuate coefficient versus the concentration of intralipid

有效衰减系数包括吸收系数和约化散射系数,通过不断改变脂肪乳浓度,利用等式(8)拟合,便可

以分离吸收和约化散射系数,获得30%脂肪乳的约化散射系数为 303 cm^{-1} , 吸收系数约为 0.037 cm^{-1} . 脂肪乳的光学特性已经得到了大量的测量^[8-10, 15, 18, 19], 图4给出了测量结果对比,可以发现测量的30%脂肪乳约化散射系数是比较合理的. 由于作为医用制剂的脂肪乳生产过程是严格控制的,因此不同厂商生产的脂肪乳性质是比较相近的. 这里指出所有的文献结果都被归一化到30%脂肪乳体积浓度条件下来进行比较.

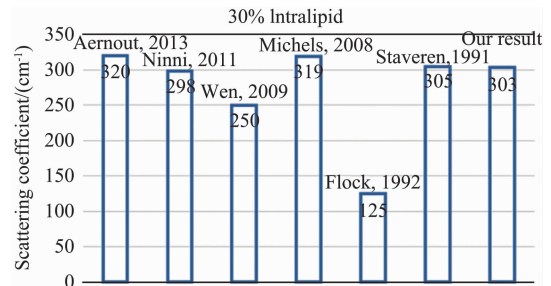


图4 脂肪乳的不同测量结果对比
Fig. 4 The comparison of different results of reduced scattering coefficient of intralipid

3.2 利用光强归一化自相关测量脂肪乳动态特性

图5(A)给出了不同浓度脂肪乳的光强波动归一化自相关曲线,源和探测器间距保持不变,为6.45 cm,可以看出随着浓度增加,自相关曲线下降明显. 利用扩散相关方程拟合可以获得不同浓度下的布朗扩散系数,可以看出不同浓度下布朗扩散系数保持基本稳定,为 $8.40 \times 10^{-9} \text{ cm}^2/\text{s}$, 与已报道结果也是吻合的^[20]. 需要注意的是,这里需要采用正确的吸收和约化散射系数来获得正确布朗扩散系数,如果忽略光学特性的变化,采用不变的吸收和约化散射系数(0.236 L脂肪乳浓度下),将会导致测量结果出现严重偏差. 例如图5(B)中的红线.

根据 Stokes-Einstein 关系可以通过布朗扩散系数获得脂肪乳颗粒的尺寸信息,见等式(9),

$$D_B = \frac{K_B T}{6\pi\eta R} \quad (9)$$

其中 D_B 为布朗扩散系数,这里为 $8.40 \times 10^{-13} \text{ m}^2/\text{s}$; K_B 为玻尔兹曼常量 ($1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$); T 为绝对温度,这里为 293 K; η 为介质的粘滞系数,由于水占了非常大的比例,因此该强散射混沌介质的粘滞系数和水接近,为 $1.01 \times 10^{-3} \text{ (kg/m/s)}$; 因此可以推算出脂肪乳的颗粒半径大约为 253 nm.

3.3 脂肪乳的时间稳定性

在30%脂肪乳的体积浓度为3.18%时,源和探

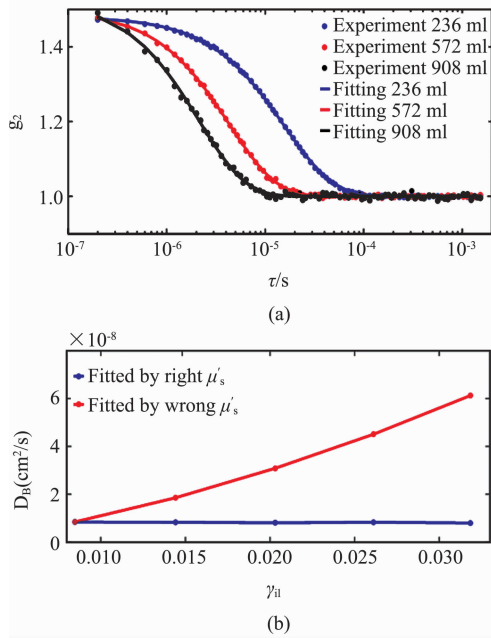


图5 不同浓度下的光强归一化自相关曲线和布朗扩散系数
 Fig. 5 The normalized optical intensity correlation curve and the deduced Brownian diffusion coefficient under different concentration of intralipid

测器间距保持不变,为 6.45 cm,静置了七天时间,观察了强散射混沌介质的光学特性和动态特性随天数的变化.由于水的含量占大部分,假设吸收系数保持不变,图 6 给出了混沌介质的约化散射系数随时间变化,可以发现约化散射系数在 7 天的时间里上升 106%.约化散射系数的增加可能是少量水分蒸发导致脂肪乳浓度增加.总的来说,脂肪乳光学性质是稳定的.

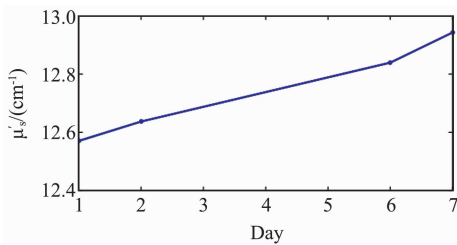


图6 脂肪乳约化散射系数随天数的变化
 Fig. 6 The reduced scattering coefficient versus days

图 7(A) 给出了脂肪乳在第二天和第六天的自相关曲线变化,可以发现自相关曲线下降变缓.图 7 (B) 给出了脂肪乳布朗扩散系数随天数的变化,布朗扩散系数下降为 63%,有可能是因为水分蒸发导致粘滞系数增加或者脂肪乳颗粒发生汇聚现象等.因此通过光学特性和动态特性的联合测量能够更加

准确的测量生物样品的性质改变.

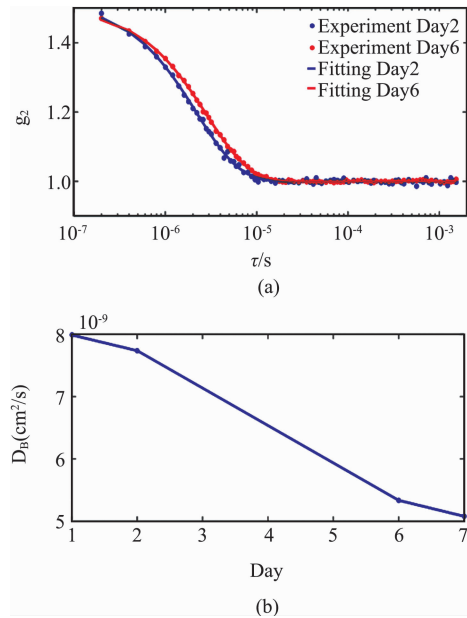


图7 自相关曲线以及布朗扩散系数随天数的变化
 Fig. 7 The normalized optical intensity correlation curve and Brownian diffusion coefficient versus days

4 结论与讨论

有别于激光散斑成像技术只能测量生物样品表层动态特性,近红外扩散相关谱利用多次散射和光学多普勒效应测量生物样品内部的动态特性.利用脂肪乳作为生物样品的替代物,展示了如何利用近红外扩散相关谱同时测量生物样品的光学特性和动态特性.由于强散射混沌介质中的吸收和散射都对光强衰减产生影响,因此本项目采用滴定法来分离出吸收和约化散射系数,这给实际应用带来不便.可以采用多个波长拟合的方法来分离吸收和约化散射系数,从而获得多个波长的吸收系数,就能得到生物样品的光谱特性.由于近红外扩散相关谱同时能够测量生物样品的光学特性和动态特性,因此为生物样品的检测提供新的手段,有望应用于生物医学、化工、食品质量、育种以及农产品检测等.

References

[1] Boas D A, Campbell L E, Yodh A G. Scattering and Imaging with Diffusing Temporal Field Correlations[J]. Physical Review Letters, 1995, 75(9):1855 - 1858.
 [2] Durduran T, Choe R, Baker W B, et al. Diffuse Optics for Tissue Monitoring and Tomography[J]. Reports on Progress in Physics, 2010, 73(73):76701 - 76743.

- [3] Durduran T, Yodh A G. Diffuse correlation spectroscopy for non-invasive, micro-vascular cerebral blood flow measurement[J]. *Neuroimage*, 2014, **85**(Pt 1):51-63.
- [4] Yeo C, Park H C, Lee K, *et al.* Avian embryo monitoring during incubation using multi-channel diffuse speckle contrast analysis[J]. *Biomedical Optics Express*, 2016, **7**(1):93-98.
- [5] Xu Ke-Xin, Gao Feng, Zhao Hui-Juan. *Biomedical Photonics*[M]. Beijing: Science Press (徐可欣, 高峰, 赵会娟著, 生物医学光子学[M], 北京: 科学出版社), 2007.
- [6] Spinelli L, Botwicz M, Zolek N, *et al.* Determination of reference values for optical properties of liquid phantoms based on Intralipid and India ink[J]. *Biomedical Optics Express*, 2014, **5**(7):2037-2053.
- [7] Driver I, Feather J W, King P R, *et al.* The optical properties of aqueous suspensions of Intralipid, a fat emulsion[J]. *Physics in Medicine & Biology*, 1989, **34**(12):1927.
- [8] van Staveren HJ, Moes CJ, van Marie J, *et al.* Light scattering in Intralipid-10% in the wavelength range of 400-1100 nm[J]. *Appl Opt*, 1991, **30**(31):4507-4514.
- [9] Flock S T, Jacques S L, Wilson B C, *et al.* Optical properties of intralipid: A phantom medium for light propagation studies[J]. *Lasers in Surgery & Medicine*, 2010, **12**(5):510-519.
- [10] Michels R, Foschum F, Kienle A. Optical properties of fat emulsions[J]. *Optics Express*, 2008, **16**(8):5907-5925.
- [11] Ninni P D, Martelli F, Zaccanti G. Effect of dependent scattering on the optical properties of Intralipid tissue phantoms[J]. *Biomedical Optics Express*, 2011, **2**(8):2265-2278.
- [12] Kanick S C, Krishnaswamy V, Gamm U A, *et al.* Scattering phase function spectrum makes reflectance spectrum measured from Intralipid phantoms and tissue sensitive to the device detection geometry[J]. *Biomedical Optics Express*, 2012, **3**(5):1086-1100.
- [13] Cletus B, Künnemeyer R, Martinsen P, *et al.* Temperature-dependent optical properties of Intralipid measured with frequency-domain photon-migration spectroscopy[J]. *Journal of Biomedical Optics*, 2010, **15**(1):017003.
- [14] Rowe P I, Künnemeyer R, Mcglone A, *et al.* Thermal Stability of Intralipid Optical Phantoms[J]. *Applied Spectroscopy*, 2013, **67**(8):993.
- [15] Ninni P D, Martelli F, Zaccanti G. Intralipid: towards a diffusive reference standard for optical tissue phantoms[J]. *Physics in Medicine & Biology*, 2011, **56**(2):21-8.
- [16] Bodenschatz N, Krauter P, Foschum F, *et al.* Surface layering properties of Intralipid phantoms[J]. *Physics in Medicine & Biology*, 2015, **60**(3):1171-83.
- [17] Wang D, Parthasarathy A B, Baker W B, *et al.* Fast blood flow monitoring in deep tissues with real-time software correlators[J]. *Biomedical Optics Express*, 2016, **7**(3):776-797.
- [18] Aernouts B, Zamora-Rojas E, Van B R, *et al.* Supercontinuum laser based optical characterization of Intralipid? phantoms in the 500-2250 nm range[J]. *Optics Express*, 2013, **21**(26):32450-32467.
- [19] Wen X, Tuchin V V, Luo Q, *et al.* Controlling the scattering of intralipid by using optical clearing agents[J]. *Physics in Medicine & Biology*, 2009, **54**(22):6917-6930.
- [20] Irwin D, Dong L, Yu S, *et al.* Influences of tissue absorption and scattering on diffuse correlation spectroscopy blood flow measurements[J]. *Biomedical Optics Express*, 2011, **2**(7):1969-1985.

沉痛悼念本刊创刊主编汤定元院士

我国著名物理学家、半导体学科创始人之一、红外学科奠基者、中国科学院院士、九三学社社员、中国科学院上海技术物理研究所研究员,《红外与毫米波学报》原主编汤定元先生,因病医治无效,于2019年6月3日10时40分在上海华东医院与世长辞,享年100岁。

汤定元院士1920年5月12日出生于江苏金坛,1942年毕业于重庆中央大学物理系,1950年获美国芝加哥大学物理系硕士学位。1951年6月回国,先后在中国科学院物理所、半导体所和上海技术物理研究所工作,1991年当选为中国科学院学部委员(院士)。汤定元院士曾任第六、第七届全国政协常委,九三学社第七、第八届中央委员会委员,中国科学院上海技术物理研究所所长、红外物理国家重点实验室学术委员会主任,《红外与毫米波学报》第一至四届编委会主编、第五至七届编委会名誉顾问。

汤定元院士是我国半导体学科创始人之一、红外学科奠基者,长期从事固体物理、半导体光电子学、红外物理和器件研究,卓有成就。他领导并建立了我国红外研究的学科体系,曾任红外物理国家重点实验室学术委员会主任。他带领研制成功多种具有国际先进水平的红外光电探测器,并成功应用于多种遥感探测装备中,为我国“两弹一星”等的研制作出了重要贡献。他潜心科研和教育事业,为国家培育了一批优秀科学家。曾荣获“全国科学大会先进工作者”奖状和“献身国防科技事业”荣誉证书。

从20世纪80年代开始,汤定元先生一直想办一份学术性刊物。经过准备,在1982年2月,汤定元先生在上海技术物理研究所组织创立了本刊,定位在高等级学术刊物,汤定元先生本来想为它取名为《红外学报》,经报中国光学学会后,本刊取名为《红外研究》。1990年,汤定元先生又向中国科学技术协会申请,要求将《红外研究》改名为《红外与毫米波学报》,经批准后,从1991年起,本刊一直采用《红外与毫米波学报》为刊名。汤定元先生半个多世纪以来他将自己的才华和精力无私地奉献给我国的科学事业,作出了杰出的贡献。他是本刊的创始人和第一届至第四届主编,现任名誉顾问。

20世纪90年代,国内开始进行期刊评奖。《红外与毫米波学报》作为汤定元先生一心培养的高等级学术期刊,多年来一直深受汤先生的教诲和指导。1992年,《红外与毫米波学报》不负汤先生所望在全科学院评奖中、中华全国自然科学专门学会联合会评奖中和新闻出版总署主持的全国期刊评奖中,先后得到三个一等奖。1996年,这份学报在全科学院的评奖中也获得一等奖。在1996年中共中央宣传部国家科学技术委员会和新闻出版总署联合主办的第二届全国优秀科技期刊评比中,《红外与毫米波学报》又获得一等奖。全国7000多份期刊,那次评出了60个一等奖。1999年获首届国家期刊奖,2000年获中国科学院优秀期刊特别奖,并在同年被国际著名科学检索系统SCI收录。

《红外与毫米波学报》编辑部 敬挽

2019年6月6日