

doi: 10.3788/gzxb20124108.0898

# 基于荧光光谱技术研究食用豆油的生物效应

吴强, 刘莹, 韩彩芹

(徐州师范大学物理与电子工程学院, 江苏 徐州 221116)

**摘要:**采用 FLS900 荧光光谱仪对食用豆油的老鼠全血溶液与正常全血溶液进行了荧光光谱对比分析, 得到了食用豆油以及正常老鼠血液的光谱特征差异. 实验结果表明, 当采用 407 nm 的激光激励全血溶液时, 会发出峰值分别位于 515 nm、556 nm 和 610 nm 处的荧光. 食用豆油的血液荧光强度比正常血液的荧光强度小, 其荧光偏振度也小于正常血液的偏振度. 分析认为长期食用豆油导致血细胞表面积变小, 即发光面积变小, 引起荧光强度减小; 体积变小, 使得分子的旋转能力增强, 发射荧光记忆入射光的能力减弱, 去偏效果明显增强, 因而荧光偏振度变小. 研究结果表明, 长期食用豆油后能有效使人体血液粘度减小, 改善血液循环, 为食用油的营养价值分析及指导人们正确食用油脂提供参考.

**关键词:**光谱学; 荧光光谱; 偏振光谱; 血液; 偏振度; 发光面积

**中图分类号:** Q631

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1004-4213(2012)08-0898-5

## 0 引言

动物或植物油脂作为常用的食用油, 有菜籽油、花生油、橄榄油、大豆油、葵花油和猪油. 其中花生油和橄榄油主要是由单不饱和脂肪酸组成, 豆油、菜籽油、葵花油主要是由多不饱和脂肪酸组成, 而动物油脂主要含有饱和脂肪酸. 豆油的颜色因大豆种皮及大豆的品种不同有所差异, 一般为淡黄、略绿、深褐色等. 精炼过的豆油呈淡黄色. 豆油中含有大量的亚油酸. 亚油酸是人体必须的脂肪酸, 具有重要的生理功能. 幼儿缺乏亚油酸皮肤会变得干燥, 鳞屑增厚, 发育生长迟缓; 老年人缺乏亚油酸, 会引起白内障及心脑血管病变. 血脂异常是心脑血管病最主要的危险因素, 血脂异常大多是因为脂肪酸摄入不均衡所致<sup>[1-3]</sup>. 油脂中富含各种脂肪酸, 作为人体每天摄入的营养, 脂肪酸与人的健康有着密切的联系. 在人体的代谢和吸收作用之下, 一部分脂肪酸会转变为人体的脂肪, 另外一部分会被消化变成能量. 多数的脂肪酸对人体是有益的, 但如果食用过多或食用方式不当也会对人体健康有所影响<sup>[4-8]</sup>. 豆油作为较常食用的油脂, 目前没有详细相关研究, 其生物效应及如何正确食用等都有待研究. 本文选取豆油研究其对生物机体及血液的作用机制, 了解多不饱和脂肪酸的生物效应. 文中采用荧光光谱分析技术研究了

食用豆油后血液的稳态荧光光谱和偏振荧光光谱, 并对其产生机理进行了理论分析和研究. 研究结果能为人们正确选用食用油, 合理食用不同食用油提供参考.

## 1 实验仪器

实验中采用英国 Edinburgh Instruments 公司生产的 FLS900 型稳态和时间分辨荧光光谱仪, 其中光源为半导体激光器, 功率是 5 mW、波长为 407 nm. 扫描区间为 430~780 nm.

## 2 实验结果

### 2.1 全血溶液的荧光光谱

从老鼠眼部取血, 加 5% 的肝素抗凝获得全血溶液, 再加适量的生理盐水溶液, 按照体积比配制 8%、7.5%、7%、6%、5%、4%、3%、2%、1% 和 0.8% 的全血溶液. 分别选取浓度为 6% 的正常全血溶液和食用豆油老鼠的全血溶液, 并固定激发波长为 407 nm, 扫描并记录两种全血溶液的荧光光谱, 如图 1.

从图 1 中可以看出, 正常血液有三个谱峰, 其峰值分别位于 510 nm、556 nm 和 610 nm 处. 通过分析血液的吸收光谱和查阅文献, 发现 610 nm 处的谱峰主要是血液中的卟啉类物质收激发后产生

基金项目: 江苏省研究生培养创新工程项目(No. CXZZ11\_0902)资助

第一作者: 吴强(1987-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为光生物医学. Email: wuqiang7688@yahoo.com.cn

责任作者/导师(通讯作者): 刘莹(1970-), 女, 博士, 教授, 主要研究方向为光与生物分子、有机分子相互作用的实验和理论等. Email: liuying70@126.com

收稿日期: 2012-01-11; 修回日期: 2012-03-06

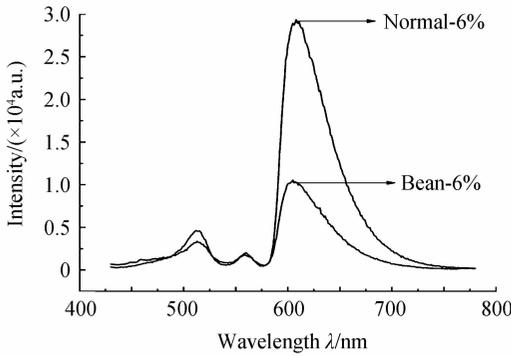


图1 6%的正常血液和食用豆油后血液的荧光光谱  
Fig.1 Fluorescence spectrum of 6% of normal blood and eat soybean oil blood

的<sup>[9-12]</sup>.分析该谱峰能了解血细胞的形状和细胞膜变化,故实验中主要记录该谱峰的变化规律.

实验时采用的激励光强度一样,从图1中可以看出正常血液的最高峰是在610 nm,食用豆油后的血液最高峰是在605 nm,正常血液在最高峰远大于食用豆油后血液在最高峰.

2.2 荧光强度随血液浓度的变化规律

固定激发波长407 nm激励不同浓度的血液溶液,得到正常老鼠血液的荧光光谱和食用豆油后老鼠血液的光谱,如图2和图3.

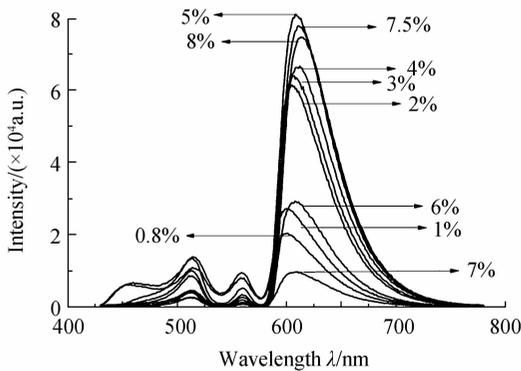


图2 不同浓度正常老鼠血液的荧光光谱  
Fig.2 The emission spectrum of different concentrations of normal mice blood

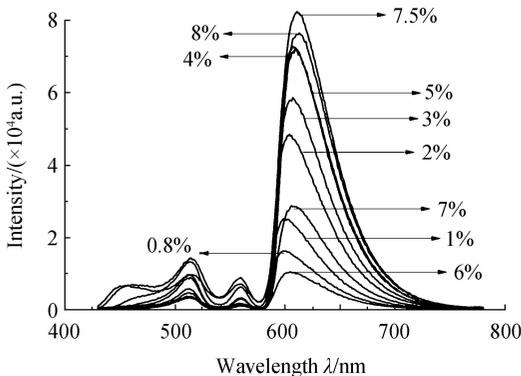


图3 不同浓度食用豆油后血液的荧光光谱  
Fig.3 The emission spectrum of different concentrations of eating Soybean oil blood

分别做出两种血液在610 nm处的荧光强度随浓度的变化规律,如图4.

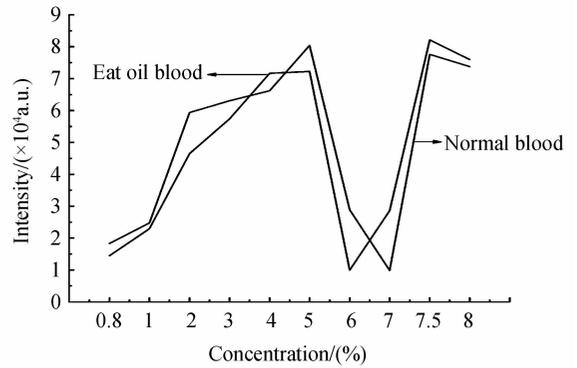


图4 两种血液在610 nm强度随浓度的变化  
Fig.4 Intensity changes with concentration of two kinds blood in the 610 nm

从图4中可以看出,两种血液在610 nm处的荧光强度变化基本变规律一样,强度随浓度先增大后减小再增大.不同的是正常血液是在浓度为7%时最小,而食用豆油后血液在610 nm处的强度在6%最小.

2.3 浓度为4%的血液荧光偏振光谱

在进行偏振荧光光谱的检测时,在激光器和样品之间放置一个偏振片作为起偏器.检测器和样品之间的检偏器由光谱仪自带.检偏角分别选取为 $\theta=0$ 和 $90^\circ$ ,进而检测各个浓度偏振荧光的强度.

选取浓度为4%的血液进行研究.做出两种血液随时间变化的荧光偏振光谱图,如图5和图6所示.图中平行和垂直分别表示检偏器和起偏器的方向相互平行和垂直.

从图5和图6可以看出所有溶液均发射荧光,其主峰位于610 nm处,根据所测的荧光强度 $I_{\parallel}$ 、 $I_{\perp}$ ,利用偏振度公式

$$P = (I_{\parallel} - I_{\perp}) / (I_{\parallel} + I_{\perp}) \tag{1}$$

可以求得偏振度

$$P_0 = \frac{24140 - 15210}{24140 + 15210} = 0.2269 \tag{2}$$

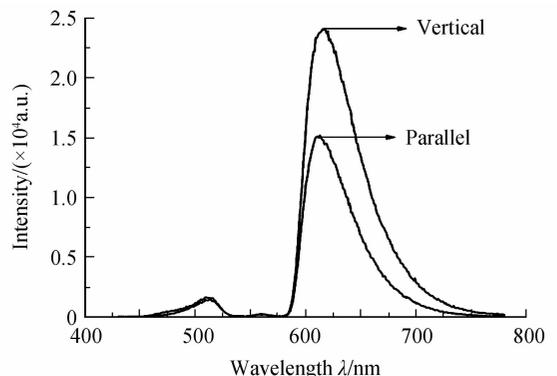


图5 4%正常血液的偏振光谱  
Fig.5 The polarization spectrum of 4% normal blood

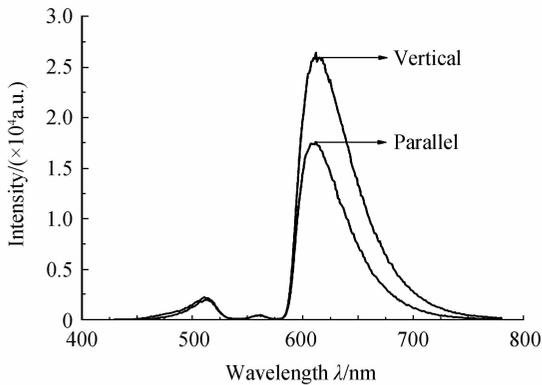


图6 食用豆油血液4%的偏振光谱  
Fig. 6 The polarization spectrum of 4% eat soybean oil blood

同理,根据偏振度公式可以求得食用豆油老鼠全血液的偏振度

$$P_1 = \frac{26440 - 17600}{26440 + 17600} = 0.2043 \quad (3)$$

可以看出正常血液的偏振度要比食用豆油后血液的偏振度大。

### 3 分析与讨论

荧光是物质吸光后发射出的波长较长的辐射,因此,溶液的荧光强度与该溶液的吸光程度及溶液中荧光物质的荧光量子产率有关.对于溶液,吸光截面积上的荧光强度为<sup>[13-14]</sup>

$$F = AKI_0 abc \left[ 1 - \frac{abc}{2} + \frac{(abc)^2}{6} \right] \quad (4)$$

式中  $A$  为吸光截面积,  $K$  为荧光量子产率,  $I_0$  为入射光的强度,  $a$  为吸光系数,  $b$  为液池厚度,  $c$  为溶液中荧光物质的浓度.由式(4)可知,在用恒定波长的激发光激励下,溶液荧光强度随浓度增加而增加,而实验结果(图4)与此吻合.但当体积分数增加到一定值(5%)后,荧光强度随体积分数的增加而下降,这是由于物质荧光自身猝灭-浓度猝灭的结果.浓度猝灭有两个主要原因:一是由于发光物质的浓度较大,激发态溶质与溶质间由于相互作用,形成了激发二聚体或激发络合物,发生荧光猝灭;另一种原因是由于能量共振转移的结果,在浓溶液中,受激分子可通过共振能量转移的方式,把多余的能量转移给相邻的不发荧光的分子<sup>[15-16]</sup>.浓度猝灭在一般情况下遵守 Stern-Volmer 方程<sup>[17]</sup>

$$F_0/F = \frac{k_f + \sum k_i + k_q[Q]}{k_f + \sum k_i} = 1 + k_q \tau_0 [Q] \quad (5)$$

$$k_q = 8RT/3000\eta \quad (6)$$

式中  $T$  为热力学温度,  $\eta$  为粘度,  $k_q$  为双分子猝灭过程的速率常量,  $\sum k_i$  为分子内所有非辐射衰变过程的速率常量的总和,  $k_f$  为荧光发射的速率常量.由式(6)可知,双分子猝灭的速率常量和温度及粘度

有关,实验是在恒温的条件下做的,因此  $T$  保持不变,所以随着配制的血液的浓度增大,粘度越大,双分子猝灭速率常量越小,则荧光强度越大.

正常血液的发射光谱随浓度在 610 nm 处的峰位基本上不变,但食用豆油的血液在 610 nm 处的峰位已经发生了变化.

食用豆油后血液最高峰的位置相对于正常血液来说发生了变化,说明食用豆油后血液的荧光分子能量发生了变化.而强度远小于正常血液的强度,因为豆油主要含不饱和脂肪酸,有可能是食用豆油后,不饱和脂肪酸可以降低人体内血糖含量<sup>[18]</sup>,血糖含量和红细胞体积成正相关,红细胞体积又和红细胞面积成正相关<sup>[19]</sup>,因此血糖含量的降低导致体积的变小,从而导致细胞面积的变小,即发光面积变小,引起荧光强度减小.

由荧光偏振理论可知,当偏振光激励时,分子在激发时发生的旋转运动越弱,发射光的偏振程度就越高,反之,分子旋转能力较强,去偏振效果越明显,发射荧光的偏振度较小.

通过分析偏振度发现,食用豆油血液的偏振度在相同条件下小于正常血液的偏振度,说明食用豆油的血液的荧光分子运动比较活跃,也就是说荧光分子的体积比正常血液荧光分子的体积小,偏振度变小,也说明血液的血粘度变小,即长期食用豆油可能引起血液的血粘度降低.血粘度的降低部分原因是血糖含量的降低导致的<sup>[20-21]</sup>,引起体积变小,分子的旋转能力增强,发射荧光记忆入射光的能力减弱,去偏效果增强,所以荧光偏振度变小.与荧光强度变小的原因相吻合.

从以上两方面分析认为食用豆油后对人体的机理是产生影响的,食用豆油后导致人体血液粘度降低,血细胞表面积变小,分子的体积变小,说明适量食用豆油后会降低高血压,心血管疾病发生的机率.

### 4 结论

本文从实验和比较分析,得到了食用豆油血液荧光明显不同于正常血液荧光的结论.食用豆油后血液荧光位置和强度均与正常血液相比发生变化,分析认为食用豆油导致血细胞表面积变小,从而引起荧光强度减小;食用豆油血液的偏振度在相同条件下小于正常血液的偏振度,说明长期食用豆油可能引起血液的血粘度降低,能改善血液循环,可能适量食用豆油后会降低高血压,心血管疾病的发生的机率.其结果能为正确食用油脂提供参考,为健康饮食提供帮助.研究结果只是初步的,其他的油类的生物效应正在研究中,其生物效应是否相近有待进一

步论证.

### 参考文献

- [1] ERKKILÄ A, de MELLO V D F, RISÉBUS U, *et al.* Dietary fatty acids and cardiovascular disease: an epidemiological approach [J]. *Progress in Lipid Research*, 2008, **47**(3): 172-187.
- [2] DINIZ Y S, CICOONA A C, PADOVANI C R, *et al.* Diets rich in saturated and polyunsaturated fatty acids; metabolic shifting and cardiac health[J]. *Nutrition*, 2004, **20**(2): 230-234.
- [3] MOZAFFARIAN D, MICHA R, WALLACE S. Effects on coronary heart disease of increasing polyunsaturated fat in place of saturated fat; a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials[J]. *PLoS Medicine*, 2010, **7**(3): e1000252.
- [4] HUNTER J E, ZHANG J, KRIS-ETHERTON P M. Cardiovascular disease risk of dietary stearic acid compared with trans, other saturated and unsaturated fatty acids; a systematic review [J]. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 2010, **91**(1): 46-63.
- [5] ASTRUP A, DYERBERG J, ELWOOD P, *et al.* The role of reducing intakes of saturated fat in the prevention of cardiovascular disease; where does the evidence stand in 2010 [J]? *The American Journal of Clinical Nutrition*, 2011, **93**(4): 684-8.
- [6] SIRI-TARINO P W, SUN Q, HU F B, *et al.* Saturated fat, carbohydrate, and cardiovascular disease[J]. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 2010, **91**(3): 502-9.
- [7] WOOD A C, KABAGAMBE E K, BORECKI I B, *et al.* Dietary carbohydrate modifies the inverse association between saturated fat intake and cholesterol on very low-density lipoproteins[J]. *Lipid Insights*, 2011, **23**(4): 7-15.
- [8] FORSYTHE C E, PHINNEY S D, FEINMAN R D, *et al.* Limited effect of dietary saturated fat on plasma saturated fat in the context of a low carbohydrate diet[J]. *Lipids*, 2010, **45**(10): 947-62.
- [9] PENG Chang-de, LIU Ying, LAN Xiu-feng, *et al.* Research on static fluorescence polarization spectrum of whole blood[J]. *Acta Optica Sinica*, 2006, **26**(10): 1544-1546.  
彭长德,刘莹,兰秀凤,等.血液静态荧光偏振光谱研究[J].光学学报,2006,**26**(10):1544-1546.
- [10] LI Bu-hong, ZHANG Zhen-xi, XIE Shu-sen, *et al.* Fluorescence spectral characteristics of human blood and its endogenous fluorophores [J]. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 2006, **26**(7): 1311-1313.  
李步洪,张镇西,谢树森,等.人血液荧光的光谱特性及其物质来源[J].光谱学与光谱分析,2006,**26**(7):1311-1313.
- [11] XU Feng, HU Lin, WANG Xian-wei, *et al.* Effects of low power laser irradiation on humans' red blood cell[J]. *Chinese Journal of Lasers*, 2008, **35**(6): 957-960.  
许峰,胡林,王现伟,等.低强度激光照射对立体人红细胞的影响[J].中国激光,2008,**35**(6):957-960.
- [12] LUO Xiao-sen, NI Xiao-wu, LU Jian, *et al.* Study of fluorescent spectrum of blood induced by lights of different wavelengths[J]. *Chinese Journal of Lasers*, 2003, **30**(1): 93-96.  
骆晓森,倪晓武,陆建,等.不同波长光照射血液诱发的荧光光谱研究[J].中国激光,2003,**30**(1):93-96.
- [13] LIU Ying, LUO Xiao-sen, SHEN Zhong-hua, *et al.* Studies on molecular structure of ethanol-water clusters by fluorescence spectroscopy[J]. *Optical Review*, 2006, **13**(5): 303-307.
- [14] LI Bu-hong, XIE Shu-sen, ZHANG Zhen-xi. Steady-state and time-resolved auto fluorescence studies of human colonic cancer[J]. *Chinese Optics Letters*, 2006, **4**(6): 348-351.
- [15] LIU Ying, SONG Chun-yuan, LUO Xiao-sen, *et al.* Fluorescence spectrum characteristic of ethanol-water excimer and mechanism of resonance energy transfer [J]. *Chinese Physics B*, 2007, **16**(5): 1300-1307.
- [16] PENG Chang-de, GAO Shu-mei, LIU Ying, *et al.* Investigation of LED induced fluorescent spectra from human blood solution[J]. *Applied Laser*, 2003, (4): 232-235.  
彭长德,高淑梅,刘莹,等.LED诱导人血液荧光光谱研究[J].应用激光,2003,(4):232-235.
- [17] 许金钩,王尊本.荧光分析法[M].北京:科学出版社,2006, 65-81.
- [18] MAO Xuan-xia, SHEN Xin-nan, ZHU Li-ping, *et al.* Relationship of plasma fatty acid composition to plasma glucose and insulin concentration during glucose tolerance test in pregnant women[J]. *Acta Nutrimenta Sinica*, 2005, **27**(2): 92-95.  
毛绚霞,沈新南,朱丽萍,等.孕妇葡萄糖耐量试验中血浆脂肪酸与血糖、胰岛素水平关系的研究[J].营养学报,2005,**27**(2):92-95.
- [19] LIN Jun, LI Yong, GE Yi-feng, *et al.* Effect of hyperglycemia on MCV measurement [J]. *Journal of Clinical Laboratory Science*, 1998, **16**(5): 280-283.  
林军,李勇,戈一峰,等.高血糖对红细胞平均体积测定的影响[J].临床检验杂志,1998,**16**(5):280-283.
- [20] SUN Zhao-hui, ZHANG Hong-fu, ZHANG Wei-yun, *et al.* The influence of the hemorrheological indices caused by high blood sugar[J]. *Chinese Journal of Hemorheology*, 2007, **17**(1): 132-134.  
孙朝晖,张洪福,张卫云,等.高血糖对血液流变学指标中黏度的影响[J].中国血液流变学杂志,2007,**17**(1):132-134.
- [21] ZHENG Li-hua, WANG Qiu-ping, GENG Hong-yan, *et al.* To study the correlation of blood viscosity with hematocrit, blood glucose, blood lipids, high-density lipoprotein and low-density lipoprotein [J]. *Chinese Journal of Laboratory Diagnosis*, 2010, **14**(9): 1415-1417.  
郑立华,王秋萍,耿红艳,等.血液黏度与血球压积、血糖、血脂和高、低密度脂蛋白的相关性分析[J].中国实验诊断学 2010,**14**(9):1415-1417.

## Biological Effects of Eat Soybean Oil Based on the Fluorescence Spectroscopy

WU Qiang, LIU Ying, HAN Cai-qin

*(College of Physics & Electronic Engineering, Xuzhou Normal University, Xuzhou, Jiangsu 221116, China)*

**Abstract:** A comparative analysis of fluorescence spectra of whole blood solution in mice having soybean oil and that in normal mice is conducted through the FLS900 steady-state fluorescence spectrometer. The results show that when using 407 nm laser to stimulate whole blood solution, it will be issued the fluorescence with peaks at 515 nm, 556 nm and 610 nm. The fluorescence intensity of having soybean oil blood less than that of normal blood. Fluorescence polarization is also less than normal polarization of blood. The analysis shows that long-term consumption of soybean oil leads to blood cell surface area smaller that light-emitting area smaller, causing the fluorescence intensity decreases. The volume becomes smaller and enhances the ability of molecular rotation. The ability of launch fluorescence memories' incident light is decreased and remove polarization effect is obvious enhanced so that fluorescence polarization becomes smaller. The results of the study show that long-term having soybean oil can effectively make human body blood viscosity decrease and improve blood circulation, which provide a reference for people having edible oils correctly.

**Key words:** Spectroscopy; Fluorescence spectrum; Polarization spectrum; Blood; Polarization; Superficial area