



# 知识整理：生物光子学

材料、机理、文献

作者：吴天翔

组织：BMO-Q's Lab

最后更新：2021 年 6 月 4 日



温柔正确的人总是难以生存，因为这世界既不温柔，也不正确。——比企谷八幡

## 特别声明

这篇笔记用来记录我在科研过程中听过的与生物光子学相关的名词、材料、机理等，特别是第一次遇到时，觉得困惑的内容。

希望文中的任何内容不会造成误解和冲突，所有整理的资料仅供参考，用于帮助自己缓解平时交流或组会中，遇到听不懂的词、遇到想查的资料时，可以速览定义或性质。所以，这篇笔记更偏向于课题组内的常用知识记录和速览。

最重要的是，督促自己阅读、整理文献资料。

笔记会持续更新，直到我离开此科研方向。单击以检查更新。

保持热情，认真科研。

Tianxiang Wu

April 28, 2021

# 目录

<b>1 荧光材料及其性质</b>	<b>1</b>
1.1 ICG . . . . .	1
1.2 AIE-4 号 . . . . .	1
1.3 AIE-5 号 . . . . .	1
1.4 2F . . . . .	2
1.5 3T . . . . .	2
<b>2 常见机理</b>	<b>4</b>
2.1 荧光共振能量转移 (FRET) . . . . .	4
2.2 EPR 效应 . . . . .	4
<b>3 常见英文缩写、名词解析</b>	<b>5</b>
3.1 A、B、C、D . . . . .	5
3.2 E、F、G、H . . . . .	7
3.3 I、J、K、L、M、N . . . . .	8
3.4 O、P、Q . . . . .	9
3.5 R、S、T . . . . .	12
3.6 U、V、W、X、Y、Z . . . . .	14
3.7 其他 . . . . .	14
<b>4 实验室常用仪器、设备及元件</b>	<b>15</b>
4.1 激光器和光源 . . . . .	15
4.2 相机和成像设备 . . . . .	15
4.3 显微镜系统 . . . . .	17
4.4 滤光片、二向色镜与透镜 . . . . .	17
4.5 准直器 . . . . .	17
4.6 接口 . . . . .	18
<b>5 组内文献阅读</b>	<b>20</b>
5.1 Excretable IR-820 for in vivo NIR-II fluorescence cerebrovascular imaging . . . . .	20
5.2 Hot-band absorption of Indocyanine Green for advanced anti-Stokes fluorescence bioimaging . . . . .	21
5.3 Re-exploring, perfecting and extending the near-infrared biological window . . . . .	22
5.4 Biologically excretable AIE dots for visualizing through the marmosets intravitrally: horizons in future clinical nanomedicine . . . . .	23

---

5.5 Protein-Enhanced NIR-IIb Emission of Indocyanine Green for Functional Bioimaging . . . . .	24
<b>A 文中相关数据</b>	<b>26</b>
A.1 散射和吸收系数数据 . . . . .	26
A.2 实验室信息 . . . . .	26
<b>B 常用光学词汇对照表</b>	<b>29</b>
<b>C 课题组人员信息</b>	<b>30</b>

# 第一章 荧光材料及其性质

## 1.1 ICG

### 材料 1.1. ICG

indocyanine green ,ICG, 吲哚菁绿，微溶于水，溶解度 1mg/mL，分子量 774.96。ICG 能与血浆蛋白紧密结合，并使其局限于血管系统。

ICG 的吸收光谱和荧光光谱处于近红外区。ICG 主要吸收在 600 nm 和 900 nm 之间，在约 800 nm 处有峰值吸收。并在 750 nm 和 950nm 之间发射荧光。吸收和荧光光谱的大重叠导致 ICG 本身对荧光有明显的再吸收。荧光光谱非常宽。其最大值约为 810 nm 的水和约 830 nm 的血液。对于基于吸收的医学应用，在大约 800 nm 处(在低浓度的血浆中)的最大吸收是重要的。结合荧光检测，一般使用波长约为 780 nm 的激光器。在这个波长下，仍然可以通过滤除激发光束的散射光来检测 ICG 的荧光。

ICG 半衰期为 150 至 180 秒，仅由肝脏向胆汁中循环除去。



待补充。

## 1.2 AIE-4 号

### 材料 1.2. AIE4

?



? 待补充

## 1.3 AIE-5 号

### 材料 1.3. OTPA-BBT

octyloxy-substituted triphenyl amine (OTPA) and benzobisthiadiazole (BBT), OTPA-BBT QDs，一种 AIE 量子点。

组内叫 AIE-5 号材料。可用 F127、PEG 等包覆。PEG 包覆的 AIE-5 号量子点荧光峰值波长 1020 nm，NIR-II PLQY 高达 13.6%。



笔记 PLQY: 光致发光量子产率，详见名词3.35 on page 11。

材料详细特征见图 1.1 on the next page。

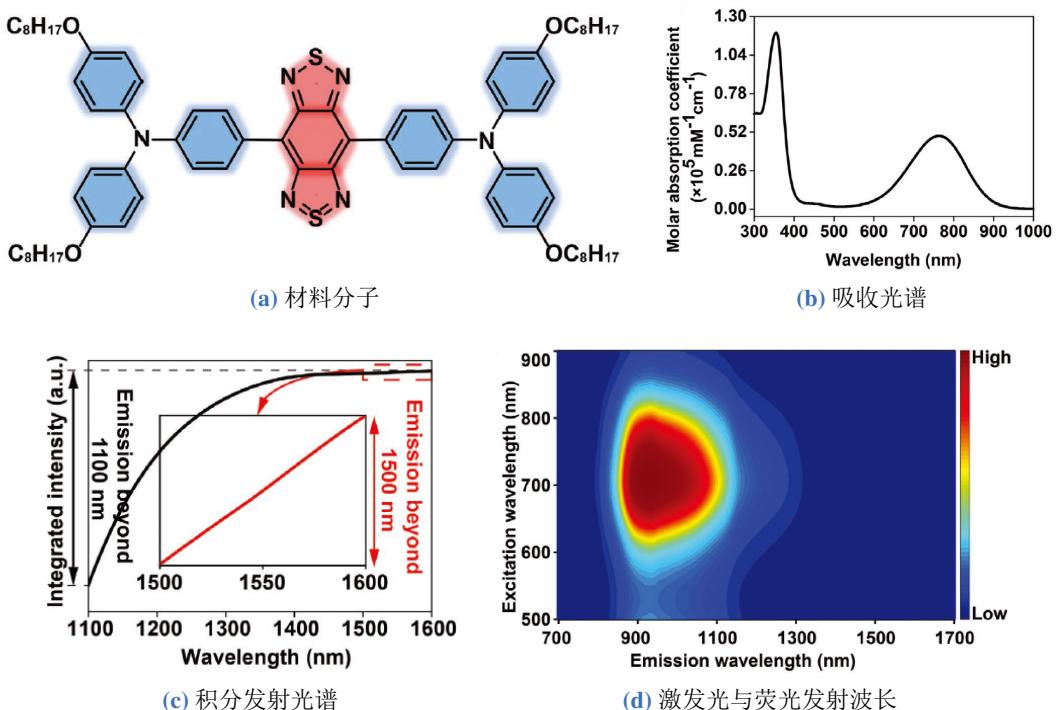


图 1.1: AIE-5 号材料特征

## 1.4 2F

### 材料 1.4. IDSe-IC2F

IDSe-IC2F 分子材料，可用 PEG 包覆成量子点。

吸收峰在 700-800 nm 左右，可以用 793 nm 激光器有效激发。发射峰在 1000 nm 左右，荧光有近红外二区拖尾。材料详细特征见图 1.2 on the following page。



## 1.5 3T

TT3? 待补充。

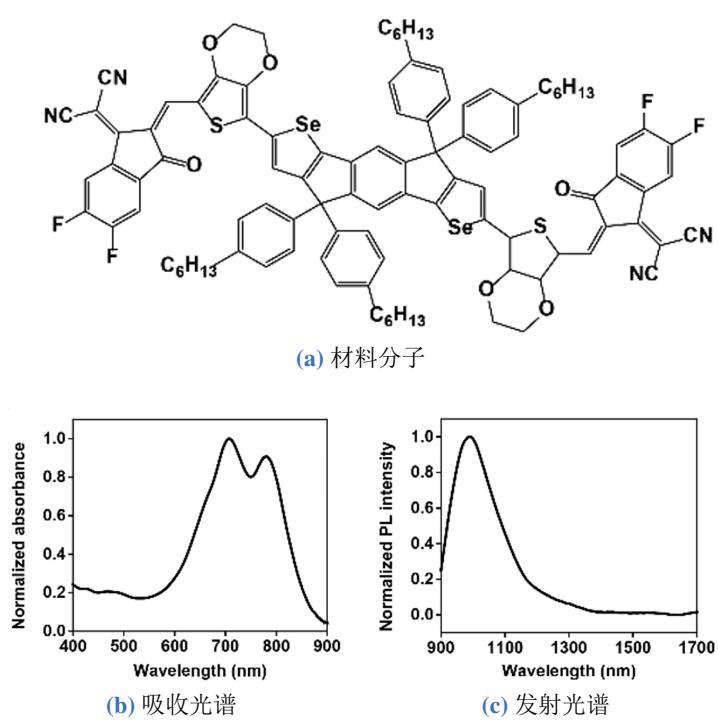


图 1.2: 2F 材料特征

## 第二章 常见机理

### 2.1 荧光共振能量转移 (FRET)

#### 机理 2.1. FRET

荧光共振能量转移是指在两个不同的荧光基团中，如果一个荧光基团（供体 Donor）的发射光谱与另一个基团（受体 Acceptor）的吸收光谱有一定的重叠，当这两个荧光基团间的距离合适时（一般小于 100Å），就可观察到荧光能量由供体向受体转移的现象，即以前一种基团的激发波长激发时，可观察到后一个基团发射的荧光。简单地说，就是在供体基团的激发状态下由一对偶极子介导的能量从供体向受体转移的过程，此过程没有光子的参与，所以是非辐射的，供体分子被激发后，当受体分子与供体分子相距一定距离，且供体和受体的基态及第一电子激发态两者的振动能级间的能量差相互适应时，处于激发态的供体将把一部分或全部能量转移给受体，使受体被激发，在整个能量转移过程中，不涉及光子的发射和重新吸收。如果受体荧光量子产率为零，则发生能量转移荧光熄灭；如果受体也是一种荧光发射体，则呈现出受体的荧光，并造成次级荧光光谱的红移。



### 2.2 EPR 效应

#### 机理 2.2. 高渗透长滞留效应

EPR 效应是指一些特定大小的大分子物质（如脂质体、纳米颗粒以及一些大分子药物）更容易渗透进入肿瘤组织并长期滞留（和正常组织相比）的现象。对此常见的解释是，肿瘤细胞为了能够快速地生长，需要更多的养料和氧气，故会分泌血管内皮生长因子等与肿瘤血管生成有关的生长因子。特别是当肿瘤达到 150-200 微米大小时，会高度依赖于肿瘤血管的养料和氧气供应。此时新生成的肿瘤血管在结构与形态上与正常的血管有很大的不同。其内皮细胞间隙较大，缺少血管壁平滑肌层，血管紧张素受体功能缺失。另外，肿瘤组织也缺少淋巴管致使淋巴液回流受阻。这两者造成了大分子物质可以方便地穿过过血管壁在肿瘤组织中富集，且不被淋巴液回流带走而能长期存于肿瘤组织，故称为实体瘤的“高渗透长滞留效应”(EPR)。EPR 效应可被一些病理生理因素进一步提高，如刺激肿瘤血管舒张的物质缓激肽、一氧化氮、过氧亚硝酸根离子、前列腺素、血管内皮生长因子、肿瘤坏死因子等。另外，肿瘤部位的淋巴细胞减少也会增加大分子物质在这里的滞留效应。



# 第三章 常见英文缩写、名词解析

## 3.1 A、B、C、D

### 名词 3.1. ACQ

Aggregation-Caused Quenching, 聚集荧光淬灭。



### 名词 3.2. ADC

analogue-to-digital conversion, 模数转换。

我们常常在相机中见到这一参数，它表示将模拟信号转换为数字信号的位深，也就是图像的最大位深。在编写代码读取该相机的 RAW 格式图片时，可能需要提供此参数。

要用代码读取 RAW 图片，可以参见下面的 Matlab 代码。



```
% matlab code:open a RAW file
col = 640;
row = 512;
%Filepath contains file name,e.g.\figure\test.raw'.
fid = fopen(Filepath,'r');
A = fread(fid,[col,row],'uint16'); % Raw data saved in matrix A.
fclose(fid);
A = uint16(A);
A = A';
```

### 名词 3.3. AIE

Aggregation-Induced Emission, 聚集诱导发光。



### 名词 3.4. ASF

Anti-Stokes fluorescence, 反斯托克斯荧光。

反斯托克斯发光过程将长波长激发转化为较短波长的发射，几种典型的 ASF 过程见图<sup>a</sup> 3.1 on the next page。

<sup>a</sup>图片勘误：图中上能级 1 实际是多个能级，会发生弛豫，因此发射光子能量会小于入射光子总能量。



### 名词 3.5. BBB

Blood Brain Barrier, 血脑屏障。

血脑屏障是指脑毛细血管壁与神经胶质细胞形成的血浆与脑细胞之间的屏障和由脉络丛形成的血浆和脑脊液之间的屏障，这些屏障能够阻止某些物质（多半是有害的）由血液进入脑组织。血液中多种溶质从脑毛细血管进入脑组织，有难有易；有

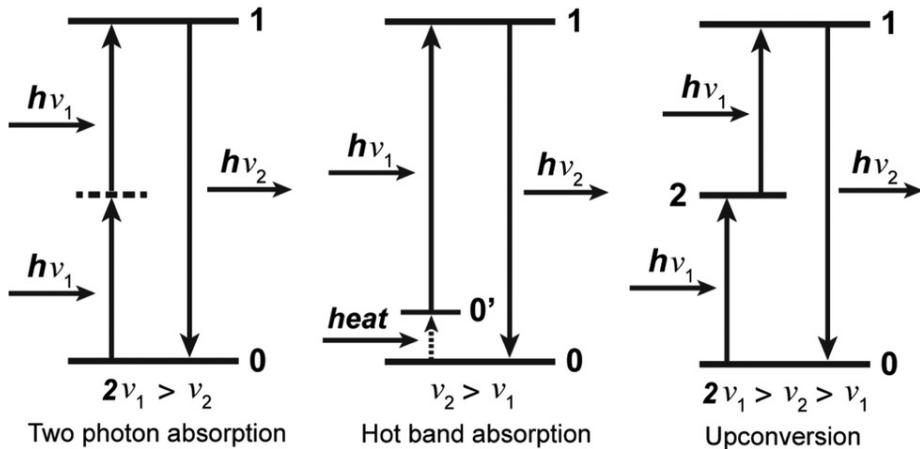


图 3.1: 典型反斯托克斯发光过程

些很快通过，有些较慢，有些则完全不能通过，这种有选择性的通透现象使人们设想可能有限制溶质透过的某种结构存在，这种结构可使脑组织少受甚至不受循环血液中有害物质的损害，从而保持脑组织内环境的基本稳定，对维持中枢神经系统正常生理状态具有重要的生物学意义。

**名词 3.6. CBD**

Common Bile Duct, 总胆管。

**名词 3.7. CT**

Computed X-ray Tomography, X 光计算机断层扫描成像。

**名词 3.8. DAI**

Disease Activity Index, 疾病活动指数。

**名词 3.9. DLS**

Dynamic Light Scattering, 动态光散射。

其也称作光子相关光谱或准弹性光散射，是一种物理表征手段，用来测量溶液或悬浮液中的粒径分布，也可以用来测量如高分子浓溶液等复杂流体的行为。

**名词 3.10. DMLP**

Long-Pass Dichroic Mirror, 长通二向色镜。

**名词 3.11. DMSO**

Dimethyl sulfoxide, 二甲基亚砜，用作有机溶剂。

常温下为无色无臭的透明液体，是一种吸湿性的可燃液体。具有高极性、高沸点、热稳定性好、非质子、与水混溶的特性，能溶于乙醇、丙醇、苯和氯仿等大多数有机物，是一种“万能溶剂”。



## 3.2 E、F、G、H

### 名词 3.12. EPR

Enhanced Permeability and Retention effect, EPR 效应，高渗透长滞留效应。



**笔记** EBR 效应机理见 2.2 on page 4。

### 名词 3.13. EL

Electroluminescence (EL), 电致发光。

Electroluminescence (EL) quantum efficiency 电致发光量子效率。



### 名词 3.14. EXO

Exosome, 外泌体。指直径在 40-100nm 的盘状囊泡，包含了复杂 RNA 和蛋白质的小膜泡 (30-150nm)，可用于包覆材料。



### 名词 3.15. FBS

Fetal Bovine Serum, 胎牛血清。



### 名词 3.16. FDA

Food and Drug Administration, 美国食品药品监督管理局。



### 名词 3.17. F-127

表面活性剂 Pluronic F-127，用于包覆材料，使其具有水溶性。



### 名词 3.18. FRET

Fluorescence Resonance Energy Transfer, 荧光共振能量转移。



**笔记** FRET 机理见 2.1 on page 4。

### 名词 3.19. FWHM

Full Width at Half Maxima, 半高全宽，指（光谱等）峰高一半处的峰宽度。

示意图见图 3.2。

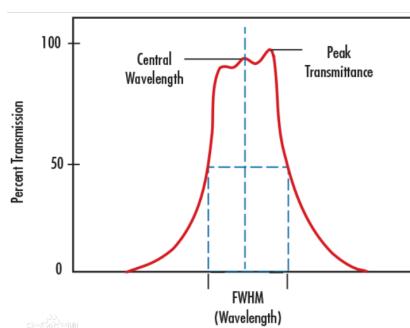


图 3.2: FWHM 示意图

**名词 3.20. GFP**

Green Fluorescent Protein, 绿色荧光蛋白。

**名词 3.21. HBA**

Hot-Band Absorption, 热带吸收。

热带吸收是反斯托克斯发光的一种过程，可参见词条 ASF 在名词 3.4 on page 5，能级图见图 3.1 on page 6。

**名词 3.22. HSA**

Human Serum Albumin, 人血清蛋白。



## 3.3 I、J、K、L、M、N

**名词 3.23. IRF**

Instrument Response Function, 仪器响应函数。

**名词 3.24. kDa**

kDa, 千道尔顿。在生物化学、分子生物学和蛋白组学中经常用于表示蛋白质等生物大分子。

Dal 全称道尔顿 (Dalton)，是分子量常用单位，就是将分子中所有原子按个数求原原子量的代数和。人们为了纪念道尔顿，以他的名字作为原子质量单位 (Dalton, Dal,Da, D)。

道尔顿 (Da) 在数值上等于相对分子质量，1kDa 表示相对分子质量为 1000 的分子。

**名词 3.25. LN**

Lymph Node, 淋巴结。

**名词 3.26. MPA**

Multi-Photon Absorption, 多光子吸收。

**名词 3.27. MRI**

Magnetic Resonance Imaging, 核磁共振成像。

**名词 3.28. NIR**

Near Infrared, 近红外波段。



**注** 冯哲师兄原文：

There mainly exist four absorption peaks in the spectra within 700-2500 nm, which are

表 3.1: 组内定义的波段命名

名称	对应波段	名称	对应波段
NIR-I	700-900 nm	NIR-IIa	900-1400 nm
NIR-II	900-1880 nm	NIR-IIx	1400-1500 nm
NIR-III	2080-2340 nm	NIR-IIb	1500-1700 nm
-	-	NIR-IIc	1700-1880 nm

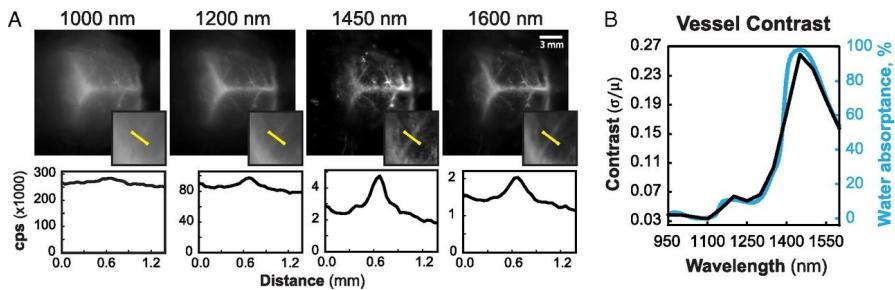
located at 980 nm, 1200 nm, 1450 nm and 1930 nm, respectively. As is widely known to all, the 360-760 nm is defined as visual region, thus NIR region should start with 760 nm. Traditional bio-imaging window is usually located in NIR-I region, which is ranging from 760 nm to 900 nm. The water absorption of photons significantly improves beyond 900 nm, compared with NIR-I. Meanwhile, the tissue scattering decreases with the increase of wavelength. The mainstream belief among scientists is that the suppressed scattering occupies a dominant position in the high-quality NIR-II imaging and they generally believe signals weakened by water absorption is defective for deep detection. However, it was found that moderate water absorption could improve image contrast[1-2], since the background with longer optical path to detect would be intensely attenuated despite the signal reduction. After some verification, we considered that the water absorption is of the essence for the improvement of NIR-II imaging technology. Because of the absorption peak at 980 nm, 900-1000 nm should not be excluded from the second near-infrared window for bio-imaging. The high absorption of photons within 1400-1500 nm is no longer the barrier in NIR-II region, as long as the imaging probes possess enough emission to resist the attenuation by water, as shown in Figure 1 (图 3.3a on the following page) . Besides, region of 1700-1880 nm could not be ignored since the its water absorption and low tissue scattering. Hence, we perfected the NIR-II window as 900-1880 nm and we newly defined the 1400-1500 nm and 1700-1880 nm as NIR-IIx region and NIR-IIc region (图 3.3b on the next page). It could be calculated that the peak absorption intensity at 1930 nm is near  $e^{100}$  times higher than the peak at 1450 nm for every 1 cm of transmission, thus the useful signals with the wavelengths near 1930 nm would be almost impossible to detect in deep tissue. After the absorption “mountain” peaking at 1930 nm, the region of 2080-2340 nm, which was considered as the third near infrared (NIR-III) region by us, becomes the last high-potential bio-window in general because the water absorption of light beyond 2340 nm keeps stubbornly high.

## 3.4 O、P、Q

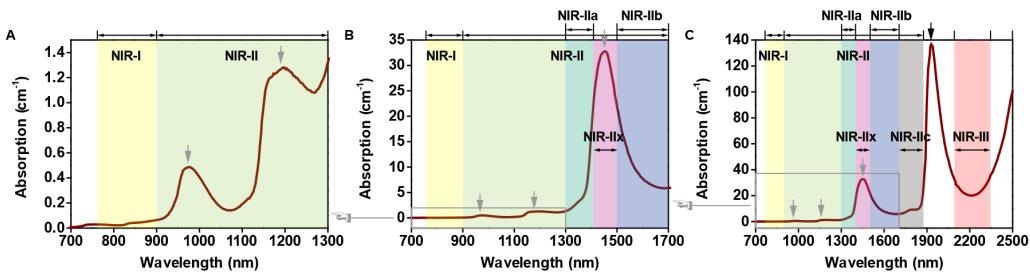
### 名词 3.29. OD

Optical Density, 光密度。

在这个术语最一般的意义上，光密度测量一个物体吸收了多少光以及有多少光穿过了这个物体，光密度用于确定构成物体的材料类型，是材料遮光能力的表征。吸收越大，OD 值越高。



(a) 原文 figure1



(b) 原文 figure2

图 3.3: 原文配图

由下式计算：

$$OD = \lg \frac{I_0}{I_t} = \lg \frac{1}{T}$$

其中  $I_0$  是入射光， $I_t$  是透射光， $T$  是指透过率。如果入射光通过材料的透射率为 0.1，那么它的 OD 值就是 1。OD 数值可以参考表 3.2。



表 3.2: OD 值参考表

光密度值	透过率	光密度值	透过率
0.01	97%	0.05	89%
0.02	95%	0.07	85%
0.03	93%	0.08	83%
0.04	91%	0.09	81%
0.1	79%	1	10%
0.2	63%	1.2	6%
0.4	39%	1.5	3%
0.7	19%	2	1%
0.9	12%	3	0.1%

### 名词 3.30. PAMP

Pathogen-Associated Molecular Patterns，病原体相关分子模式。

病原微生物表面存在一些人体宿主所没有的，但可为许多相关微生物所共享，结构恒定且进化保守的分子结构，称为病原体相关分子模式（PAMP），固有免疫识别的 PAMP，往往是病原体赖以生存，因而变化较少的主要部分，如病毒的双链 RNA 和细菌的脂多糖，对此，病原体很难产生突变而逃脱固有免疫的作用。



**名词 3.31. PBS**

Phosphate Buffered Saline, 磷酸盐缓冲液。

**名词 3.32. P-dots**

polymer dots。聚合物点。

**名词 3.33. PLA**

Polylactic Acid (PLA), 聚乳酸, 又称聚丙交酯, 是以乳酸为主要原料聚合得到的聚酯类聚合物, 是一种新型的生物降解材料。

在禁塑令生效后, PLA 也被用于制作吸管。可以用于包覆材料。

**名词 3.34. PTI**

1. Pattern-Triggered Immunity, (植物的) 模式触发免疫。

2. Photo Thrombotic Ischemia, 光致血栓性缺血。

**名词 3.35. PLQY**

Photoluminescence Quantum Yield, 光致发光量子产率。

光致发光量子产率可以表征样品的发光效率, 即测量样品有效利用吸收光的效率, 数学上可以表示为发射光子数和吸收光子数的比值。测量样品的量子产率有两种方法: 相对量子产率测量和绝对量子产率测量。相对量子产率方法需要一种已知量子产率的标准品作为参照, 通过对标准物和样品进行吸光度和荧光的测量换算得到样品的量子产率。但是相对量子产率只适用于液体样品。



笔记 QY 见3.41 on the next page, EL 见3.13 on page 7

**名词 3.36. PTT**

Photothermal Therapy, 光热疗法

**名词 3.37. PDT**

Photodynamic Therapy, 光动力疗法。

通过光敏剂将吸收的光能有效地转化为局部高温或产生有毒的活性氧(ROS), 从而杀死癌细胞。



笔记 ROS 见3.43 on the next page。

**名词 3.38. PEG**

Polyethylene Glycol, 聚乙二醇。

一种双极性分子, 用于包覆材料, 使其具有水溶性。PEG 可诱导水溶液中大分子的聚集。



**名词 3.39. PRR**

Pattern Recognition Receptor, 模式识别受体。

是一类主要表达于固有免疫细胞表面、非克隆性分布、可识别一种或多种 PAMP 的识别分子。

**名词 3.40. QE**

Quantum Efficiency, 量子效率。

量子效率是对光敏器件电光敏性的一种测量。光活性表面利用来自入射光子的能量来产生电子-空穴对，光子的能量增加了电子的能级，使电子离开了价带，电子被束缚在单个原子上，并进入导带，在那里它可以自由地穿过材料的整个原子晶格。光子在撞击光活性表面时产生电子-空穴对的百分比越高，量子效率越高。

**名词 3.41. QY**

Quantum Yield, 材料的量子产率，指材料出射光子数与吸收光子数的比值，由于是光子数的比值，出射与入射光子能量可以不同，所以量子产率理论上可以大于 1。



## 3.5 R、S、T

**名词 3.42. RAW**

RAW 264.7, 一种巨噬细胞。

是常用的研究炎症或者巨噬细胞行为的模型，为小鼠腹腔巨噬细胞系。

**名词 3.43. ROS**

Reactive Oxygen Species, 活性氧，一种激发态的氧分子。

即一重态氧分子或称单线态氧分子 ( $O_2^{\cdot}$ )；

3 种含氧的自由基，即超氧阴离子自由基 ( $O_2^-$ )、羟自由基 ( $\cdot OH$ ) 和氢过氧化自由基 ( $HO_2^{\cdot}$ )；

2 种过氧化物，即过氧化氢 ( $H_2O_2$ ) 和过氧化脂质 (ROOH) 以及一种含氮的氧化物 (NO) 等。

这些物质化学反应活性强、存在寿命短，如  $O_2^-$  的平均寿命为  $2 \mu s$ ,  $\cdot OH$  自由基  $200 \mu s$ 、 $O_2^{\cdot}$  自由基  $5 s$ 。

**名词 3.44. SBR**

Signal to Background Ratios, 信号背景比，信背比。

**名词 3.45. SWIR**

短波红外 (Short-wave infrared, 简称 SWIR) 一般指 900-1700 nm 的光波段，是肉眼不可见的红外光波段。





**笔记** NIR 及其波段命名见3.28 on page 8。

#### 名词 3.46. SLN

Sentinel Lymph Nodes , 前哨淋巴结。



#### 名词 3.47. TADF

Thermally Activated Delayed Fluorescence, 热活性型延迟荧光。



#### 名词 3.48. TCA

水合氯醛，代号 TCA, 2A 类致癌物，用作麻醉剂。

水合氯醛为催眠药、抗惊厥药。催眠剂量 30 分钟内即可诱导入睡，催眠作用温和，不缩短 REMS 睡眠，无明显后遗作用。催眠机理可能与巴比妥类相似，引起近似生理性睡眠，无明显后作用。较大剂量有抗惊厥作用，可用于小儿高热、破伤风及子痫引起的惊厥。大剂量可引起昏迷和麻醉。抑制延髓呼吸及血管运动中枢，导致死亡。



#### 名词 3.49. TCSPC

Time-Correlated Single-Photon Counting, 时间相关单光子计数。



#### 名词 3.50. TEM

Transmission Electron Microscope, 透射电子显微镜。



#### 名词 3.51. Tekwin

Tekwin, (西安) 天盈光电。国产短波红外相机生产厂家和供应商。



#### 名词 3.52. THF

Tetrahydrofuran, 四氢呋喃。可用作有机溶剂。



**注** 甲醇是极性质子溶剂(甲醇的醇羟基氢有一定的电离能力)，可以给出质子，既可以做氢键供体也可以做氢键受体(O 原子)。四氢呋喃是极性非质子溶剂，只能结合质子，不能给出质子，只能做氢键的受体，不能做供体。

#### 名词 3.53. TEOS

Tetraethyl orthosilicate, 正硅酸乙酯，有机物。

能与乙醇和乙醚混溶，微溶于苯，几乎不溶于水，但能逐渐被水分解成氧化硅。在潮湿空气中逐渐混浊、静置后析出硅酸沉淀。无水分存在时稳定，蒸馏时不分解。易燃。高浓度时有麻醉性。有刺激性。



#### 名词 3.54. TTA

TTA,Triplet-Triplet Annihilation 三重态-三重态湮灭。

简单来说，两个三重态的粒子，会生成一个基态和一个激发态的单重态，然后激发

的单重态再发光。



## 3.6 U、V、W、X、Y、Z

### 名词 3.55. UCNP

Upconversion Fluorescence from Rare-earth doped Nanoparticles, 稀土掺杂纳米颗粒的上转换荧光。



### 名词 3.56. UMUC3

UMUC3 cells, 人膀胱癌细胞系。



## 3.7 其他

### 名词 3.57. 4T1

4T1, 小鼠乳腺癌细胞。



### 名词 3.58. 戊巴比妥

戊巴比妥, 镇静药物, 麻醉剂。

巴比妥类药物的镇静, 催眠和麻醉作用机理为抑制脑干网状结构上行激活系统所致, 且具有高度选择性, 对丘脑新皮层通路无抑制作用, 故无镇痛作用。戊巴比妥对呼吸和循环有显著的抑制作用。能使血液红, 白细胞减少, 血沉加快, 延长血凝时间。苏醒期长, 一般需 6 到 8 小时才能完全恢复。

用量: 10~20mg/Kg 体重。C57 小鼠: 1% 戊巴, 200 $\mu$ l。



## 第四章 实验室常用仪器、设备及元件

## 4.1 激光器和光源

此节列出组内可以使用的光源。包含激光器、LED 和其他类型照明光源，按照波长分类。



图 4.1: LED 光源



图 4.2: 可见激光光源

## 4.2 相机和成像设备

相机快速跳转

- SW640 短波红外相机
  - SW320-EX 扩展版相机
  - SH640 短波红外相机
  - GA1280 近红外宽谱段相机
  - SD640 短波红外相机

#### 4.2.1 SW640 短波红外相机

SW640 是西安天盈光电生产的高分辨率短波红外相机。采用 TEC 制冷，有效响应波段  $900 - 1700\text{ nm}$ 。相机控制和输出接口可全部采用 USB, Gige 和 CameraLink。详细参数见表 4.1 on page 17。

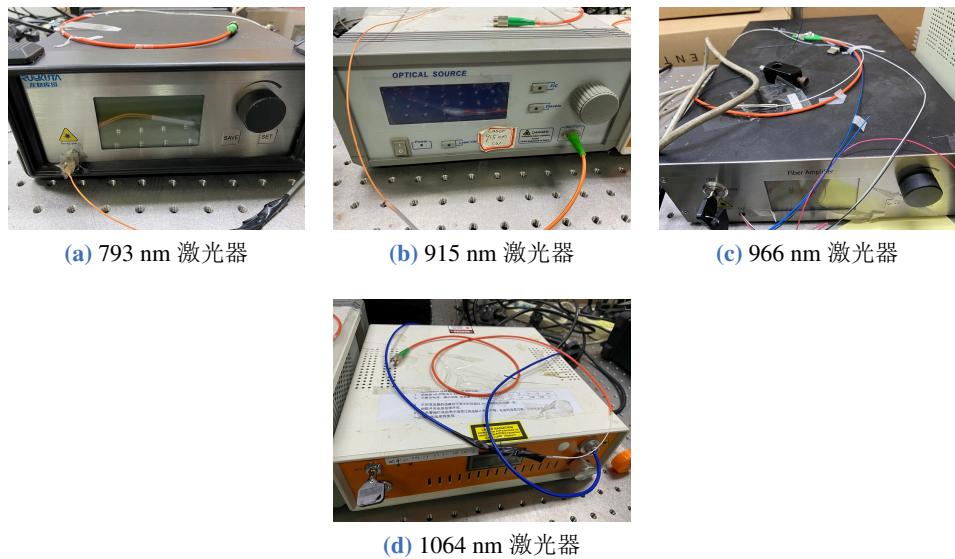


图 4.3: 红外激光光源



图 4.4: 实验室常用的天盈光电相机

#### 4.2.2 SD640 短波红外相机

SD640 短波红外相机，没有在网络上查找到相关信息。

#### 4.2.3 SH640 短波红外相机

SH640 是天盈光电一款小型高性能短波红外相机。显著特征是拥有非常低的最低探测亮度<sup>2</sup>。

#### 4.2.4 SW320-EX 短波红外扩展版相机

SW320-EX 短波红外扩展版相机，定制型号。

#### 4.2.5 GA1280 近红外宽谱段相机

GA1280 相机的光谱响应  $400 - 1200 \text{ nm}$ ，像素数  $1280 \times 1024$ 。在  $700 \sim 1000 \text{ nm}$  处  $QE50\%$ 。

<sup>2</sup>最低探测功率密度约  $1.1 \times 10^{-5} \text{ mW/cm}^2$

表 4.1: SW640 性能指标

探测器类型	光谱响应	像素数	像素大小	有效面积
InGaAs	900 – 1700nm	640 × 512	25μm	16 × 12.8mm <sup>2</sup>
相机接口	曝光时间	ADC	相机尺寸	重量
C & M42	10μs ~ 1s	12 bit <sup>1</sup>	110 × 110 × 110mm	1.7 kg

表 4.2: SH640 性能指标

探测器类型	光谱响应	像素数	像素大小	有效面积
InGaAs	900 – 1700nm	640 × 512	15 μm	12.8 × 10.2 mm <sup>2</sup>
相机接口	曝光时间	ADC	相机尺寸	重量
C 口	1 μs ~ 1 s	14 bit	50 × 50 × 44mm	≤220 g

## 4.3 显微镜系统

### 4.3.1 OLYMPUS FV1200

奥林巴斯的FV1200 激光扫描显微系统（已停产）。

### 4.3.2 Thorlabs 共聚焦显微镜

## 4.4 滤光片、二向色镜与透镜

### 4.4.1 滤光片

有关长通和短通滤光片的详细透过率参数，详见 Thorlabs 边通滤光片。型号后有 H 的是高质量滤光片（例如短通滤光片 EFSH1000），可见 Thorlabs 优质硬膜边通滤光片。

### 4.4.2 二向色镜

有关二向色镜的详细参数，详见 Thorlabs 长波通二向色镜/分束器和 Thorlabs 短波通二向色镜/分束器。

### 4.4.3 透镜

透镜统计工作将在 6 月进行。超接连目标测试。

## 4.5 准直器

准直器统计工作将在 6 月进行。超链接测试。

表 4.3: GA1280 性能指标

探测器类型	光谱响应	像素数	像素大小	有效面积
InGaAs	400 – 1200nm	1280 × 1024	10 $\mu\text{m}$	12.8 × 10.2 mm <sup>2</sup>
相机接口	曝光时间	增益	相机尺寸	重量
C 口	20 $\mu\text{s}$ ~ 25 ms	12 bit	44.5 × 46.7 × 37.2mm	140 g

表 4.4: 滤光片数量统计

长通	数量	短通	数量	带通	数量
700LP	1	500SP	1	330-385	2
750LP	1	650SP	1	450-650	1
785LP	1	700SP	1	470-495	2
800LP	2	750SP	1	510-550	1
850LP	1	800SP	1	530-550	1
900LP	2	850SP	1	750-960	1
950LP	1	900SP	3		
1000LP	2	945SP	1		
1100LP	4	950SP	2		
1200LP	1	1000SP	1		
1300LP	1	1075SP	2		
1400LP	1	1300SP	1		
1450LP	1	1500SP	7		
1500LP	1				
1700LP	1				
2000LP	2				

## 4.6 接口

此节主要总结实验中常用的光机接口，以便查询详细参数和购买时搜索使用。主要涉及放大器、寿命成像等应用中常用的 BNC 同轴电缆接口、SMA 接口等。光机接口具体见图 4.5 on the following page。光纤接口等见图 4.6 on the next page。值得注意的是，FC/PC 的接口是平的，APC 接口是倾斜的。选择接口时，需搭配对应光纤头使用。

表 4.5: 二向色镜统计

DMLP	数量	DMSP	数量
633	1	660	1
660	1	900	1
805	1	950	1
900	2	1100	1
1150	1	1500	1
1180	1		
1500	1		



图 4.5: 实验室常见接口



图 4.6: 常用光纤接口

## 第五章 组内文献阅读

### 5.1 Excretable IR-820 for in vivo NIR-II fluorescence cerebrovascular imaging

出版商全文连接。

#### 创新点概要

- IR-820 在血清中的 NIR-II 荧光产率高，稳定性好
- IR-820 的光热效应显著
- IR-820 脑血管成像，脑血流速度计算
- 脑血管功能成像：动脉栓塞模型

#### 5.1.1 文中提及的数据及知识点

1. IR-820 发射峰在 780-900 nm。
2. IR-820 在 10%FBS 中的吸收峰红移了大约 160 nm，在约 860 nm。NIR-II 量子产率也更高，为 2.521。
3. IR-820 光稳定性较好。 $20mW/cm^2$  照射 60 分钟亮度没有明显减弱。
4. IR-820 分子吸附在血清中的蛋白上，表现出纳米颗粒的特征。
5. IR-820 主要通过肝胆和肾脏代谢，注射 10 分钟就会富集在肝脏中。注射材料 5 周后，所有器官中的荧光信号全部消失。
6. IR-820 在体内肝脏、肾脏、膀胱有较强的荧光信号。
7. 正常小鼠大脑中的血流速度为  $0.2 - 2010^3 m/s$ 。
8. 光热治疗的实验采用皮下瘤裸鼠肌肉注射方式，48 小时后肿瘤部位最亮，肿瘤靶向作用可能来源于 EPR 效应。 $2W/cm^2$  照射 10 分钟。
9. IR-820 购买自上海阿拉丁生化科技有限公司<sup>1</sup>。

#### 5.1.2 文章中解释的问题

1. ?

#### 5.1.3 论文结构完整性

#### 5.1.4 个人保留问题

- 1.

<sup>1</sup>2021/6/4 日在阿拉丁网站上已经没有找到 IR-820 的相关信息了，最接近的有 IR-813。

## 5.2 Hot-band absorption of Indocyanine Green for advanced anti-Stokes fluorescence bioimaging

### 创新点概要

- 验证了 ICG 的 ASF
- 此 ASF 比 UCNPs 更强
- 利用 L1057 NPs 增加图像对比度
- 用于脑血管断层成像和血流测速
- 双通道成像手术导航

**注** ICG 在 915 nm CW 光激发下的热激发振动能级吸收引起的 ASF。L1057 NPs 的发射峰约 1100 nm，其吸收光谱与 ICG 的荧光谱有重叠。

 **笔记** ASF，反斯托克斯荧光。详见名词 3.4 on page 5 ,ICG 见材料 1.1 on page 1。

### 5.2.1 文中提及的数据及知识点

1. ICG 理论吸收峰在 794 nm
2. 915 nm 激发光下，ICG 溶于 DMSO 全光谱荧光量子效率约 13%
3. 915 nm 激发光下，800-900 nm 的 ASF 量子效率约 8%
4. TADF 荧光寿命在微秒量级
5. ICG 光热使用 1550 nm 激发光照射，因为水吸收大
6. 元素：Tm（铥，Tm<sup>3+</sup>，发音：diū），Yb（镱，Yb<sup>3+</sup>，发音：yì），Y（钇，发音：yǐ）

### 5.2.2 文章中解释的问题

1. 如何验证 ICG 的上转换属于哪种机制？

测量功率依赖关系和荧光寿命。经测量，DMSO 溶液中的 ICG (0.1mg/mL) 对数功率依赖关系系数接近 1，是线性过程，排除多光子吸收 (MPA)。利用 TCPSC 测量荧光寿命，发现寿命约 0.83 ns。而三重态寿命很长，所以排除 TADF。同时测量热敏特性。温度升高时，长波长 (910-920 nm) 吸收增加，吸收最大值 (794 nm) 在降低。认为其应当是 HBA 过程。

 **笔记** HBA，热带吸收。详见名词 3.21 on page 8.

2. 在验证光热治疗中荧光强度变化时，为何要做对照实验？

消除光漂白的影响，虽然实验中斯托克斯荧光强度随温度上升而下降，但也有可能是因为光漂白造成的荧光强度下降。所以不用光照情况下做对比实验。

3. 为什么要用 ICG，不用稀土的上转换荧光？

因为比起稀土，ICG 的 ASF 要亮的多。（实验验证）

### 5.2.3 论文结构完整性

验证 ICG 的 ASF，证明它比稀土更亮，并用它来做光热、脑血管断层成像和双通道手术导航。从发光机制、材料优势到创新应用，文章内容全面。

### 5.2.4 个人保留问题

1. 为什么文中只与稀土纳米颗粒上转换荧光做对比？因为稀土是比较常用的上转换荧光材料。能级丰富，可以调谐发射波长。
2. 还有其他上转换材料用于成像吗？很多有机材料都有上转换荧光。

## 5.3 Re-exploring, perfecting and extending the near-infrared biological window

### 创新点概要

- |  |  |
|--|--|
| <input type="checkbox"/> 修改了 NIR-II 波段的定义<br><input type="checkbox"/> 新定义了 NIR-III 波段<br><input type="checkbox"/> 确认水吸收对成像的积极作用 <sup>a</sup> | <input type="checkbox"/> NIR-III 可能成为最佳成像窗口 <sup>b</sup><br><input type="checkbox"/> 1450 PdS/CdS 量子点用于子宫和膀胱成像 |
|--|--|

<sup>a</sup>实验：小鼠全身成像，材料 1450-CdS QDs@PEG 水溶液

<sup>b</sup>对较亮的荧光团而言



笔记 NIR 波段定义见名词 3.28 on page 8。

### 5.3.1 文中提及的数据和知识

1. 水吸收峰在  $\sim 980 \text{ nm}$ ,  $\sim 1200 \text{ nm}$ ,  $\sim 1450 \text{ nm}$ ,  $\sim 1930 \text{ nm}$ 。
2. 1450-PbS/CdS QD，发射波长位于 1450 nm 附近，用于验证 1450 nm 附近的成像效果。
- 3.

### 5.3.2 文章中解释的问题

1. NIR-II 从原来的 1000-1700 nm 修改至 900-1880 nm，增加 900-1000 nm 和 1700-1880 nm 范围的原因是什么？

首先说明水吸收对成像质量的积极影响，NIR-II 波段的定义应该考虑水吸收的作用。由于在 980 nm 处有吸收峰，所以将 900-1000 nm 也划入 NIR-II。另外，经典探测器现有的探测波段限制了成像波段的在 1700 nm 以上的成像效果，但是由于相似的吸收和散射系数，1700-1880 nm 应该被划入 NIR-II 波段，命名为 NIR-IIc。

2. NIR-III 的波段为何定义为 2080-2340 nm？

首先，超过 2340 nm 之后的水吸收非常大，对成像的影响非常大。2080 nm 之前，有一个水吸收峰，2080-2340 nm 刚好是一个水吸收谷。

 **笔记** 水吸收系数详见图 A.1 on page 26。

### 5.3.3 论文结构完整性

说明波段定义需要考虑吸收带来的积极效果，用仿真验证吸收的积极效果，进行实际的成像实验。提出定义、理论验证、实验验证，逻辑完整。

### 5.3.4 个人保留问题

1. 水吸收的积极作用只会在材料亮度足够时才能体现。如何定量衡量这一标准（如何判定足够亮）？或者说，当吸收可以对成像有积极作用时，材料亮度与吸收系数之间有什么样的对应关系？

## 5.4 Biologically excretable AIE dots for visualizing through the marmosets intravitally: horizons in future clinical nanomedicine

### 创新点概要

- |   |  |
|---|--|
| <input type="checkbox"/> 明亮的 AIE-5 号材料 <sup>a</sup> | <input type="checkbox"/> 血栓形成的检测       |
| <input type="checkbox"/> 材料可被代谢                     | <input type="checkbox"/> 猴的胃肠道成像       |
| <input type="checkbox"/> 材料有 NIR-IIb 荧光             | <input type="checkbox"/> 使用 FFT 分析成像效果 |
| <input type="checkbox"/> 进行了大深度脑血管成像                |  |

<sup>a</sup>OTPA-BBT 量子点，详见材料1.3 on page 1。

本节内容是对文献 [3] 的笔记。

### 5.4.1 文中提及的数据和知识

1. AIE-5 号的内核是两组 FRET 材料对。

### 5.4.2 文章中解释的问题

1. 如何实现激光控制的血栓形成？

文章中说明，在小鼠体内已经存在 5 号量子点的情况下，注射光敏剂，用 532 nm 的光持续照射 2-3 分钟，诱发模式免疫，使血小板聚集形成血栓，阻碍血流。这样形成的血栓可以被血流冲开，使血流恢复正常。当光束面积缩小，能量密度提高时，血栓不易消除，60 分钟后，观察到了血管增生和形态变化。

### 2. 5号的代谢情况如何？

口腔灌注或喂食，20分钟进入回肠，9小时到达结肠。在32小时后，荧光基本集中在粪便中。3天后，主要器官内荧光完全消失。

### 5.4.3 论文结构完整性

首先说明材料的优势在于很亮的NIR-IIb荧光，并且可以代谢，并将其用于狨猴的脑血管成像、血栓模型的监测和胃肠道成像。

### 5.4.4 个人保留问题

暂无。

## 5.5 Protein-Enhanced NIR-IIb Emission of Indocyanine Green for Functional Bioimaging

### 创新点概要

- ICG 在 HSA 中的 NIR-II 荧光增强
- ICG 在 FBS 中的 NIR-II 荧光增强
- ICG 在胆汁中的 NIR-II 荧光增强
- 首次 ICG 的 NIR-IIb 体内成像

本节内容是对文献[4]的笔记。

### 5.5.1 文中提及的数据和知识

1. 比起溶于水中，ICG溶在HSA中时，吸收峰比在重水中红移20 nm左右（778 nm → 803 nm）。

 **笔记** HSA，人血清。详见名词 3.22 on page 8。

### 5.5.2 文章中解释的问题

1. 为什么溶解在HSA,FPS或大鼠胆汁中时，ICG的亮度会提高？

文章中说明，ICG微溶于水，因此在水中容易聚集，导致荧光淬灭。但是当溶解于FBS, HSA(4%)或者胆汁中时，ICG能够与其中的蛋白的疏水核心结合，可以防止ICG进一步聚集，提高其化学和光学稳定性。

2. 问题？

## 参考文献

- [1] CARR J A, AELLEN M, FRANKE D, et al. Absorption by water increases fluorescence image contrast of biological tissue in the shortwave infrared[J/OL]. Proceedings Of the National Academy Of Sciences Of the United States Of America, 2018, 115(37):9080-9085. <[GotoISI](#)>://WOS:000444257200036.
- [2] TANZID M, HOGAN N J, SOBHANI A, et al. Absorption-induced image resolution enhancement in scattering media[J/OL]. Acs Photonics, 2016, 3(10):1787-1793. <[GotoISI](#)>://WOS:000385992200009.
- [3] FENG Z, BAI S Y, QI J, et al. Biologically excretable aggregation-induced emission dots for visualizing through the marmosets intravitally: Horizons in future clinical nanomedicine[J/OL]. Advanced Materials, 2021, 33(17). <[GotoISI](#)>://WOS:000630600600001.
- [4] HE M B, WU D, ZHANG Y H, et al. Protein-enhanced nir-iib emission of indocyanine green for functional bioimaging[J/OL]. Acs Applied Bio Materials, 2020, 3(12):9126-9134. <[GotoISI](#)>://WOS:000602578800096.  
DOI: [10.1021/acsabm.0c01384](https://doi.org/10.1021/acsabm.0c01384).

## 附录 A 文中相关数据

### A.1 散射和吸收系数数据

#### A.1.1 水的吸收系数图

水在可见光几乎没有吸收。在近红外，吸收系数开始震荡增加，在 980, 1450, 1910 处有局部吸收峰。详见图 A.1。

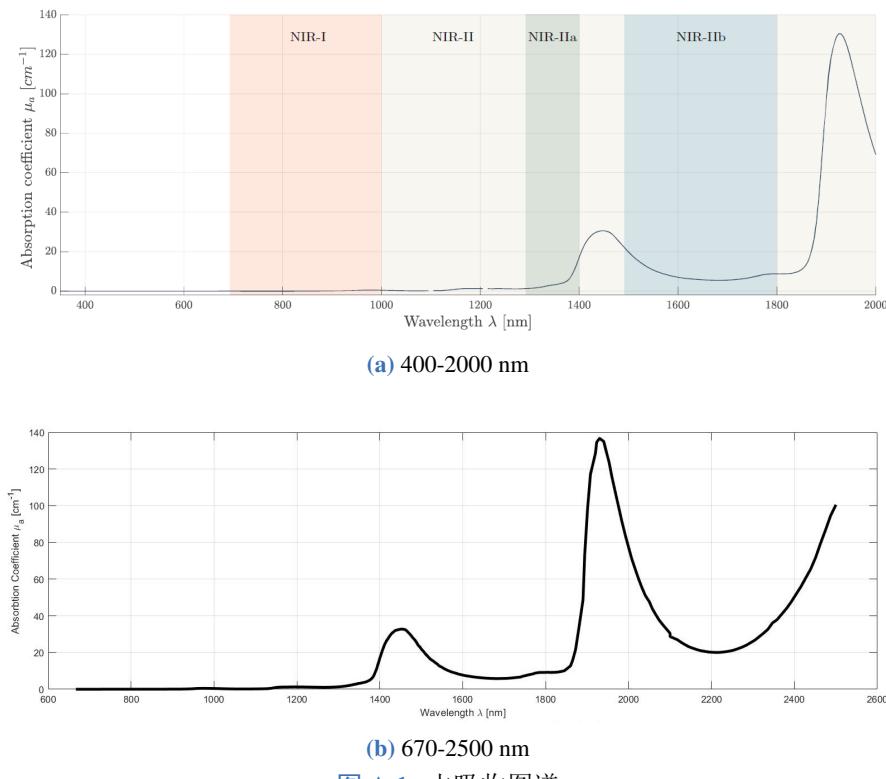


图 A.1: 水吸收图谱

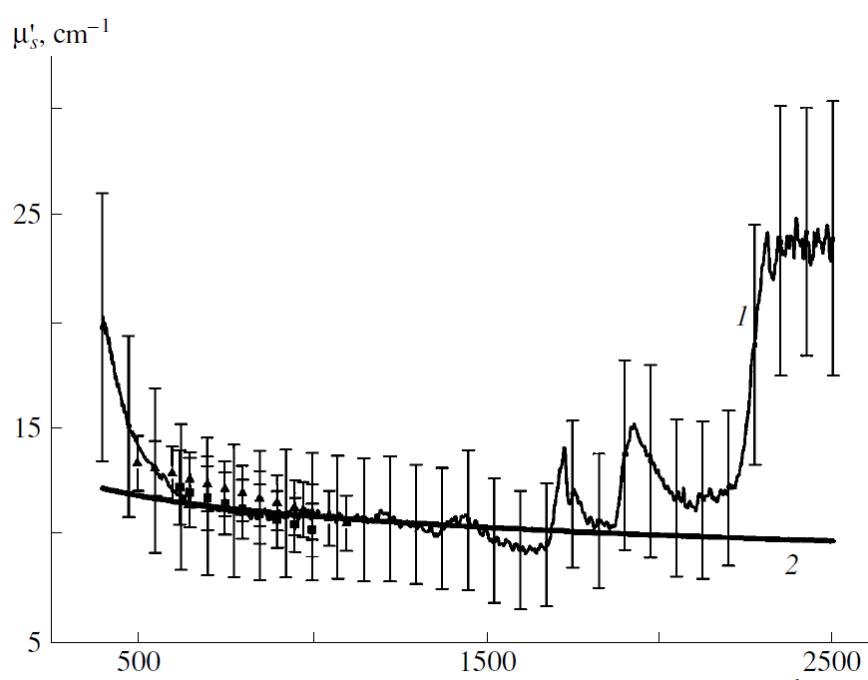
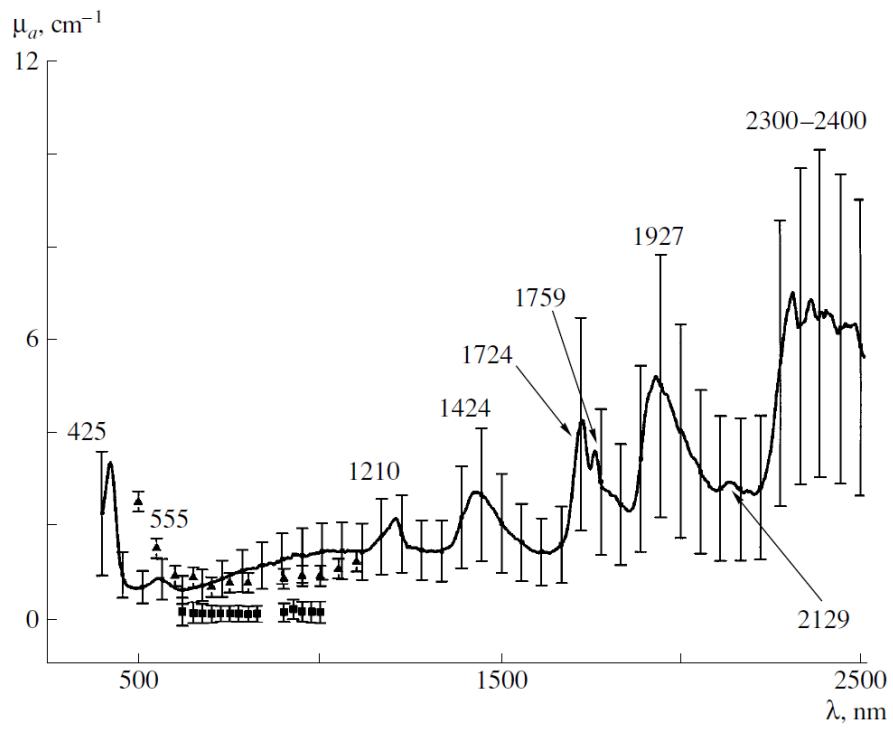
#### A.1.2 油脂吸收与散射系数

油脂也是活体生物的重要组成部分，其光学参数对成像有较大影响。油脂的吸收和散射系数见图 A.2 on the following page。

## A.2 实验室信息

浙江省杭州市西湖区余杭塘路 866 号浙江大学（紫金港校区）东 5 教学楼 光及电磁波研究中心

现代光学仪器国家重点实验室，浙江大学光电科学与工程学院国际先进光子学研究中心，光及电磁波研究中心。



(b) 散射系数  
图 A.2: 油脂光学参数

State Key Laboratory of Modern Optical Instrumentations, Centre for Optical and Electromagnetic Research, College of Optical Science and Engineering, International Research Center for Advanced Photonics, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China

## 附录 B 常用光学词汇对照表

## 附录 C 课题组人员信息

**表 C.1: BMO-Q 课题组人员信息**

学工号	姓名	培养类型	年级	电话号码
	钱骏	——	——	13505815872
	汪亚伦	——	——	13957197989
	阿卜杜热合曼·则比布拉	——	——	15924110078
	张鹤群	博士生	2013 级直博	15068149355
	李东宇	博士生	2014 级直博	18768115548
	努尔妮沙·阿力甫	博士生	2015 级普博	15925692249
	朱亮	博士生 (联合培养)	2017 级直博	15868181658
	薛丁玮	博士生 (联合培养)	2017 级转博	15700179920
	吴迪	博士生 (联合培养)	2017 级普博	18758198169
	蒋曼晓	博士生 (联合培养)	2017 级直博	18868106599
	陈木雄	博士生 (联合培养)	2017 级转博	15067149704
	周静	博士生	2018 级直博	18888763019
	何木斌	博士生	2018 级直博	17816890181
	虞文斌	硕士生	2016 级	15157340927
	余晓明	硕士生 (联合培养)	2016 级	18268136649
11930004	冯哲	博士生	2019 级转博	18530193366
21730046	蔡朝冲	硕士生	2017 级	13291899389
	王槐岚	硕士生 (联合培养)	2017 级	18868111993
12130003	倪沪桅	博士生	2021 级转博	18868109583
12030008	陈润泽	博士生	2020 级转博	18667948563
21930074	张浴煌	硕士生	2019 级	13269325513
22030040	吴天翔	硕士生	2020 级	15051305530
22030026	彭士屹	硕士生	2020 级	13981804293
	耿伟航	硕士生	2021 级	
	牟宣杰	硕士生	2021 级	