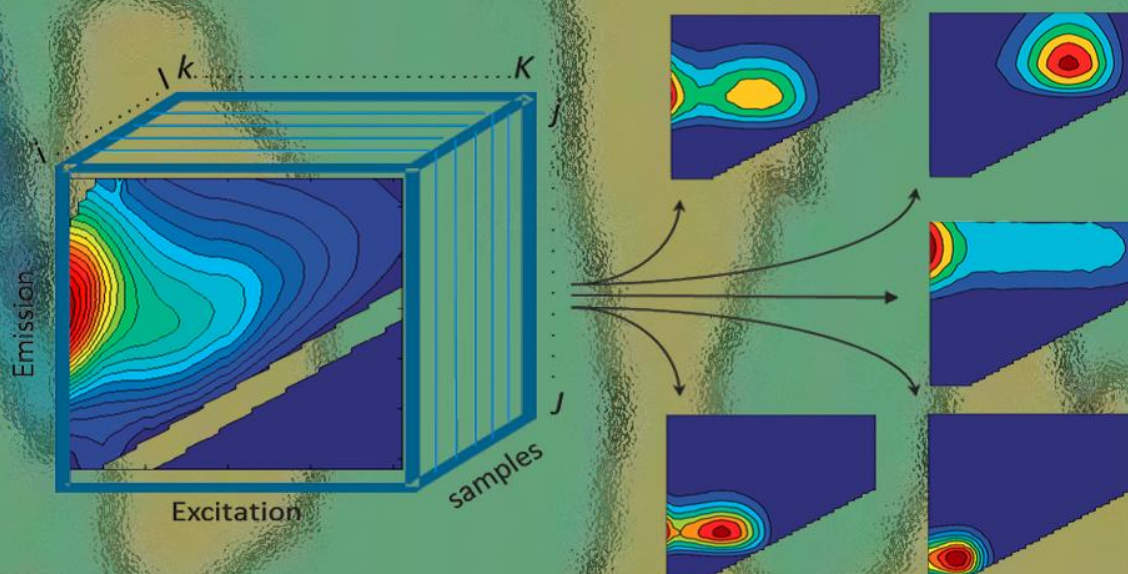


跬步集

第 14 期



封面文章

三维荧光

——
你的世界太不懂

Page 15

连载

芳香骨架的
世界 (5) :
双光子显微镜下的
团簇和碳纳米管

Page 1

综述

A rough
introduction
to
rhizosphere

Page 5

目录

张干	芳香骨架的世界（5）：双光子显微镜下的团簇和碳纳米管		Page 1
Qing Dai	A rough introduction to rhizosphere		Page 5
钟广财	关于 POPs 研究的小小感悟		Page 8
王嘉琦	生命的一切成长，都需要时间		Page 11
唐娇	三维荧光----你的世界太难懂		Page 15

芳香骨架的世界（5）：双光子显微镜下的团簇和碳纳米管

张干

（续上期）

其实有心的人猜得中。是我们组的老友记，Kevin Jones。说来话长，在~15-7年前，Kevin遇到了一个比他还牛 X 的学生，叫 Ed (Edward)。这哥俩率先使用双光子激发显微镜（two-photon excitation microscope, TPEM）结合自发光荧光技术，观察 PAHs 向植物体内的传输过程，并通过图形和动画软件 visualize PAHs 的动态。Kevin 曾于 2007 年，在我们有机室向大家展示动画，震撼地精彩。而几乎在同时，他们向 Nature/Science 提交了一份稿件，被拒后，投到了 Journal of Physical Chemistry A (JPC-A)，编辑让我审稿。我记得，当时我的第一反应，就觉得他们应该投 Nature（Kevin 此前没机会告诉我）！因为里边有几幅图像，真的让我难忘。这值得我在此，不厌其烦地，边打字、边道来。

一般认为，POPs 或 PAHs 等疏水性有机污染物（HOCs）进入生物体内后，将优先分配，partition，在脂肪中。微观地，大家也倾向于认为，这些 HOCs 应当是象“溶解”，即均匀分散于脂质中的。但是，Ed 与 Kevin 们用 PAHs 作实验，却发现 PAHs 进入脂质（油、蜡质）后，会逐渐地、神秘地，自己团聚起来，在脂质中不再是均匀分散，而是呈团簇（0.2-5 微米大小）分布了！是什么力

量，让 PAHs 自组织起来，竟自能达到亚微米到微米级尺度的？不得而知。但是，这对 HOCs 的毒理、生态毒理，却有重大意义，因为这些 HOCs 在脂肪内的原位 (*in-situ*) 作用浓度及可能对生命体的毒害，将依此团聚过程，而显著提高！

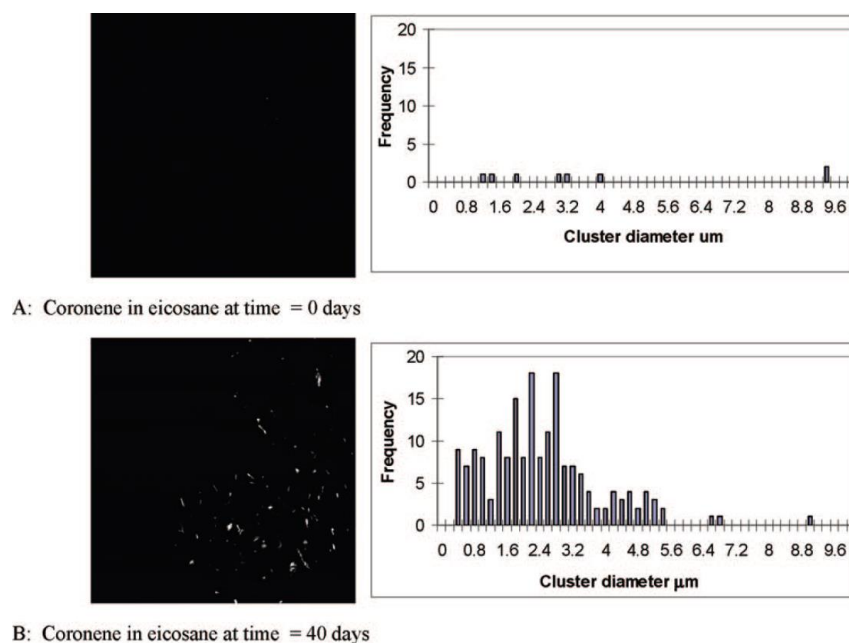


图 1 晕苯在正二十烷中，经过 40 天，可以看到亚微米到微米级的团簇生成。

我出的“馊主意”，建议罗老师组织开展碳纳米管-HOCs“复合污染”体系的植物效应研究。其出发点，是我们组孙悦在广财老师的支持下，已基本掌握了 BPCA 法分析、定量 BC 的实验方法。而当我又“revisit”Ed 和 Kevin 的工作时，却发现，这两个小子已经在多年前即琢磨起了碳纳米管-HOCs“复合污染”体系，并于 2009 年在 ES&T 上发表了他们的工作成果。How did they do it? 呵呵，用 TPTEM, visualization！

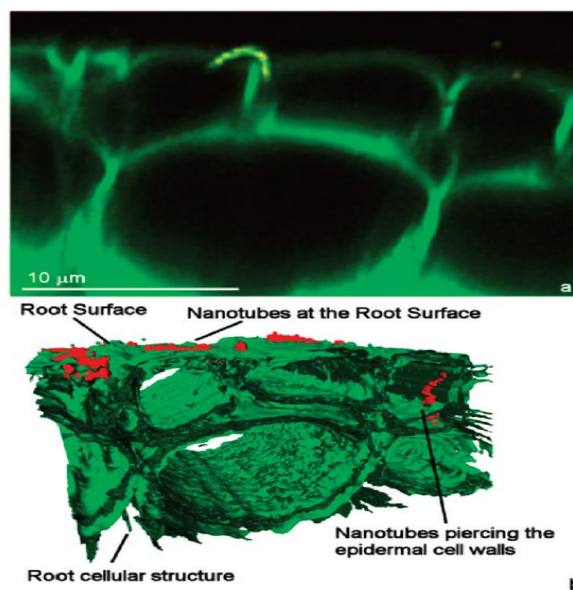


图 2 TPEM 重建的三维影像，显示 MWCNTs 单体和团簇体在植物根表面，或刺穿植物表皮细胞壁。

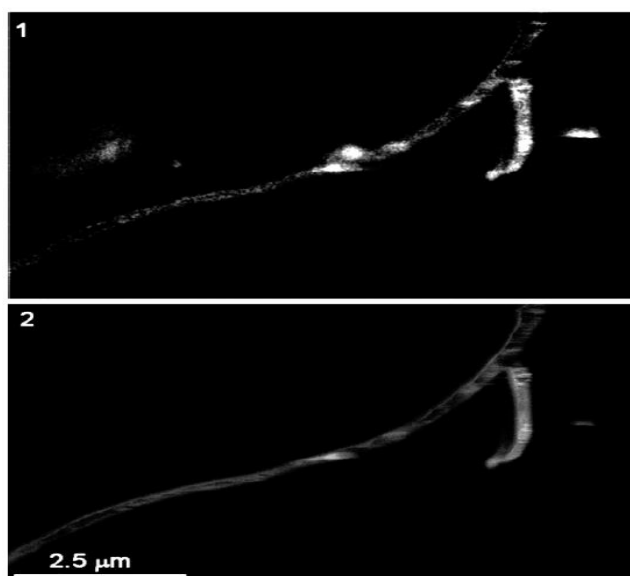


图 3 MWCNTs（丝状体）刺穿植物表皮细胞的同时，将菲（PAHs）“携带”进入植物体内，完成所谓“MCCNT-PAHs 复合污染的植物效应”。

打着打着，我有些困了。不过，仍还不忘“八卦”一下。超有才华的 Ed，因为 TPEM 看 PAHs 的工作，得了不少奖，包括获得 NERC 的 PDRA 等。Ed 很清秀，怯生生地，是个公开的同性恋者。2010 年我去兰卡，有人告诉我，他离开了，同他的伴侣一起，去到英格

兰南方海边的美丽城市 Brighton，做起了他最想做的事——当木工！

真的吗？愿他幸福开心。

推荐文献

1. Edward Wild, Ana Cabrerizo, Jordi Dachs, and Kevin C. Jones. Clustering of Nonpolar Organic Compounds in Lipid Media: Evidence and Implications. *JPC-A*, 2008, 112, 11699–11703
1. Edward Wild and Kevin C. Jones. Novel Method for the Direct Visualization of in Vivo Nanomaterials and Chemical Interactions in Plants. *ES&T*, 2009, 43, 5290–5294.

A rough introduction to rhizosphere

Qing Dai

The term “rhizosphere” was initially proposed by Lorenz Hiltner, a Soil Bacteriologist and Professor of Agronomy at the Technical College of Munich(Hartmann et al., 2008). He stated that “the nutrition of plants in general certainly depends upon the composition of the soil flora in the rhizosphere”, and “If plants have the tendency to attract useful bacteria by their root excretions, it would not be surprising if they would also attract uninvited guests which, like the useful organisms, adapt to specific root excretions.”. Although his description is not a perfect picture, the dominant influences from root and plant in rhizosphere is exactly tangible and following this, a deeper insight in such a specific micro-ecological environment is increasingly developed. Hitherto, rhizosphere is still an attractive topic.

Rhizosphere is a sensitive zone where there occurs interaction and communication between plants and microbes in soils(Bais et al., 2006; Grayston et al., 1998). The unique surroundings, which includes the roots, the exudates, the microbial communities and the biofilms, contribute the rhizosphere to a hot topic in environmental microbiology(Reilley et al., 1996), microbial ecology(Philippot et al., 2013), botany(Walker et al., 2003), and pedology(Bowen and Rovira, 1999). The fluctuations of material circulation and energy flow in rhizosphere impact features of soil, the health of plants(Berendsen et al., 2012) and the microbiotas(Smalla et al., 2001). It has been proved that rhizosphere activities exert effects to soil fertility(Jeffries et al., 2003), bioavailability of soil composition(Hinsinger, 2001), carbon and nitrogen fixation(James, 2000; Xiao et al., 2014), growth and yields of plants(Dobbelaere et al., 2003), structure and population of microbiotas(Berg and Smalla, 2009), biofilm formation(Fujishige et al., 2006), etc. Therefore, it is essential to pursue a further insight in rhizosphere activity.

The activity is sophisticated in rhizosphere. Plants secrete the root exudates which may increase the nutrient absorption(Jones and Darrah, 1994), inspire the enzyme activity of functional microbes(Henry et al., 2008), reduce pathogens infection(Bais et al., 2005) and mediate the structure and diversity of microbiota(Huang et al., 2014). On the other hand, microbes in rhizosphere mediate the geochemical circulation of elements and composition of soil, reach a balance responding to the root

exudates, protect the plants from pathogen infection and achieve a profound significance for health and growth of plants (Mendes et al., 2013; Nihorimbere et al., 2011; Schimel and Schaeffer, 2012; Vega, 2007). Symbiotic, parasitic or planktonic, microorganisms in rhizosphere can strongly sense the status of plants and ambient microbes and therefore, a magnificent communication network is built.

References

- Bais, H.P., Prithiviraj, B., Jha, A.K., Ausubel, F.M., Vivanco, J.M., 2005. Mediation of pathogen resistance by exudation of antimicrobials from roots. *Nature* 434, 217-221.
- Bais, H.P., Weir, T.L., Perry, L.G., Gilroy, S., Vivanco, J.M., 2006. The role of root exudates in rhizosphere interactions with plants and other organisms. *Annual review of plant biology* 57, 233-266.
- Berendsen, R.L., Pieterse, C.M.J., Bakker, P.A.H.M., 2012. The rhizosphere microbiome and plant health. *Trends Plant Sci* 17, 478-486.
- Berg, G., Smalla, K., 2009. Plant species and soil type cooperatively shape the structure and function of microbial communities in the rhizosphere. *Fems Microbiol Ecol* 68, 1-13.
- Bowen, G.D., Rovira, A.D., 1999. The rhizosphere and its management to improve plant growth. *Adv Agron* 66, 1-102.
- Dobbelaere, S., Vanderleyden, J., Okon, Y., 2003. Plant growth-promoting effects of diazotrophs in the rhizosphere. *Crit Rev Plant Sci* 22, 107-149.
- Fujishige, N.A., Kapadia, N.N., Hirsch, A.M., 2006. A feeling for the micro-organism: structure on a small scale. *Biofilms on plant roots*. *Bot J Linn Soc* 150, 79-88.
- Grayston, S.J., Wang, S.Q., Campbell, C.D., Edwards, A.C., 1998. Selective influence of plant species on microbial diversity in the rhizosphere. *Soil Biol Biochem* 30, 369-378.
- Hartmann, A., Rothballer, M., Schmid, M., 2008. Lorenz Hiltner, a pioneer in rhizosphere microbial ecology and soil bacteriology research. *Plant And Soil* 312, 7-14.
- Henry, S., Texier, S., Hallet, S., Bru, D., Dambreville, C., Cheneby, D., Bizouard, F., Germon, J.C., Philippot, L., 2008. Disentangling the rhizosphere effect on nitrate reducers and denitrifiers: insight into the role of root exudates. *Environ Microbiol* 10, 3082-3092.
- Hinsinger, P., 2001. Bioavailability of soil inorganic P in the rhizosphere as affected by root-induced chemical changes: a review. *Plant And Soil* 237, 173-195.
- Huang, X.F., Chaparro, J.M., Reardon, K.F., Zhang, R.F., Shen, Q.R., Vivanco, J.M., 2014. Rhizosphere interactions: root exudates, microbes, and microbial communities. *Botany* 92.
- James, E.K., 2000. Nitrogen fixation in endophytic and associative symbiosis. *Field Crop Res* 65, 197-209.
- Jeffries, P., Gianinazzi, S., Perotto, S., Turnau, K., Barea, J.M., 2003. The contribution of arbuscular mycorrhizal fungi in sustainable maintenance of plant health and soil fertility. *Biol Fert Soils* 37, 1-16.
- Jones, D.L., Darrah, P.R., 1994. Role Of Root Derived Organic-Acids In the Mobilization Of Nutrients From the Rhizosphere. *Plant And Soil* 166, 247-257.

- Mendes, R., Garbeva, P., Raaijmakers, J.M., 2013. The rhizosphere microbiome: significance of plant beneficial, plant pathogenic, and human pathogenic microorganisms. *Fems Microbiol Rev* 37, 634-663.
- Nihorimbere, V., Ongena, M., Smargiassi, M., Thonart, P., 2011. Beneficial effect of the rhizosphere microbial community for plant growth and health. *Biotechnol Agron Soc* 15, 327-337.
- Philippot, L., Raaijmakers, J.M., Lemanceau, P., van der Putten, W.H., 2013. Going back to the roots: the microbial ecology of the rhizosphere. *Nat Rev Microbiol* 11, 789-799.
- Reilley, K.A., Banks, M.K., Schwab, A.P., 1996. Dissipation of polycyclic aromatic hydrocarbons in the rhizosphere. *J Environ Qual* 25, 212-219.
- Schimel, J.P., Schaeffer, S.M., 2012. Microbial control over carbon cycling in soil. *Front Microbiol* 3.
- Smalla, K., Wieland, G., Buchner, A., Zock, A., Parzy, J., Kaiser, S., Roskot, N., Heuer, H., Berg, G., 2001. Bulk and rhizosphere soil bacterial communities studied by denaturing gradient gel electrophoresis: Plant-dependent enrichment and seasonal shifts revealed. *Appl Environ Microb* 67, 4742-4751.
- Vega, N., 2007. A REVIEW ON A REVIEW ON BENEFICIAL BENEFICIAL BENEFICIAL EFFECTS OF RHIZOSPHERE BACTERIA ON EFFECTS OF RHIZOSPHERE BACTERIA. *Rev.fac.nal.agr.medellín.vol*.
- Walker, T.S., Bais, H.P., Grotewold, E., Vivanco, J.M., 2003. Root exudation and rhizosphere biology. *Plant Physiol* 132, 44-51.
- Xiao, K.Q., Nie, S.A., Bao, P., Wang, F.H., Bao, Q.L., Zhu, Y.G., 2014. Rhizosphere effect has no effect on marker genes related to autotrophic CO₂ fixation in paddy soils? *J Soil Sediment* 14, 1082-1087.

关于 POPs 研究的小小感悟

钟广财

“大道至简， 中华道家哲学，指大道理是极其简单的，简单到一两句话就能说明白。”

某天，回想我过去几年做的研究。“大道至简”，那是寻思的目标。当然，我不敢妄称我所想到的是大道，而只能算是小小的道理。

曾有人问我：“什么是有机地球化学。”很遗憾，我没答出来。我答非所问：“我研究地球上物质的来源、迁移、转化，以及迁移和转化的互动。我们把这统称为命运（fate）。”人也要问从哪里来，到哪里去，命运如何。听着，这世界的事物不仅有差不多的道理，也有差不多的疑问。

我的硕博，物质只包括 POPs 或类 POPs 化合物，甚至更小——农药。这些物质的命运让我感觉最独特的部分是它们能经历各种各样的可逆的界面交换，这使得它们的命运丰富多彩。这些界面交换（interface exchange）包括土-气、气-粒、气-植物、水-气、水-沉积物、水-粒、水-生物、气-冰……。这些过程可逆，结果会怎么样？常听的 grasshopper effect 概念是一个例子。我的硕博课题海洋农药的水-气交换也是一个例子：曾认为陆地排放的农药经大气传输至海洋，经水-气交换沉降到海水，海水中的农药吸附于颗粒物随之沉于深海，农药被封存于深海沉积物不再对陆地生物有健康威胁；然

而，随着农药禁用，大气农药浓度下降，打破/改变水-气交换平衡，拉动水中农药向大气再挥发。

界面交换之界面其实不局限于上述“水、气、粒、植物.....”，相分配（partitioning）是更原始一点的表述，上述所有界面可分为固、液、气三相。如果用上“相分配”，那这个圈圈可就大了！不仅存在于一系列环境的界面交换过程，还存在于多种有机物分析技术 GC、HPLC、被动采样器.....把他们搞到一个圈圈里会发现，描述这些过程的套路很相似。某天，闻说我所冉勇老师最擅长研究吸附。我琢磨着，吸附也算相分配吧。思及此，我猛然想起 Rene P. Schwarzenbach 那本经典著作 *Environmental Organic Chemistry*。再翻翻，没有百分之八十都有百分之五十在聊 partitioning。我才领悟。

除了界面交换，POPs 的命运当然还有些别的过程。比如说，我们会搞个气团反演，估计 POPs 是从那个区域来的；我们会搞个盐度跟海水 POPs 浓度的相关性看看 POPs 受到河流传输的影响有多显著；我们组研究过 forest filter effect，叶子吸附空气 POPs 随叶子落至土壤从而除去大气 POPs，前半部分是界面交换，后半部分是落叶的动力学。

以上些许道理，我看做 POPs 研究的框架。这是一座房子，框架搭好了，要垒砖，要装修。这个框架，很多是一些定性的东西。比如说，只要对 partitioning 有点基本认识，应该可以猜想 POPs 的水-气交换是可逆过程，有理由猜想大气 POPs 浓度减低有可能拉动

水里 POPs 向大气挥发。然而，难点在于如何用实验证明相关过程发生了，并且（相对/绝对）量化该过程。比如说我做海洋农药水-气交换那会儿，一些人做的生物泵驱动的水-气交换沉降很抓眼球——北冰洋藻华爆发，吸附海水溶解态 POPs，海水溶解态 POPs 浓度骤降，拉动大气 POPs 沉降。这个过程，对相分配比较熟悉的人应该很容易想到有这个可能性。只是如何去验证这个过程，并且这个过程相比别的影响水-气交换方向和强度的有多重要，比较棘手。

Jordi Dach 近年发表的生物泵驱动的水-气交换沉降研究的价值，如他自己文章（*Nature Communication*, 2012）所说“The results show the first evidence from a field study of the important role that the biological pump has modulating the atmospheric transport over the ocean.”要建漂亮房子，或者说创新，重视那些普遍被忽视的过程，用实验证明这些过程发生了，并且（相对/绝对）量化它，也许会有效果吧。有些东西不是不重要，只是还没有第一个人打开局面。

生命的一切成长，都需要时间

王嘉琦

这篇小札是我在重新翻看自己从去年进所时至今所写日记的梳理，有欢笑，有泪水，有豁然开朗，有黯然神伤，今日拿来且当做燥热暑天的一杯清茶，送君温润悠长。

白雪少年

我想我们更愿意用白雪无暇来形容少年的青葱岁月，这段岁月那样白，那样净，包容了一切的放浪不羁。但在我这儿，我更想用白来形容自己初入地化所的知识背景，在雁栖湖“度假”的一年感觉更像上了个大学五年级，所以当自己八月份进所的时候，心情那叫一个焦虑紧张，是那种吃饭都在想着自己怎么会比别人落后那么多的感觉。后来自己把每一件紧急的事，重要的事一一列在自己的小本子上，慢慢调整自己的心态。确实人生中有很多紧急的事，我们不能不做，但我们要试着将紧急的事做成重要的事，我们不要把自己的一生都在紧急的应付中度过，既然选择了做这件事情，我们就从容而用心地做好事，不要让我们的生活步调变得仓促而沉重。对待生活不能敷衍，就像《围城》里的方鸿渐，他最大的问题就是敷衍了生活，对待人对待事，都是以一种微讽的态度周旋着，最后让自己陷入狼狈。

每个人拥有的只有自身、自身的现在，而一个只做有建设性的事情的人，永远持有最好的现在，再由这些现在，攒成最好的未

来。我会重新规划自己一天的生活，清晨之时给自己适当时间放松地静心，愉快地享受自己的食物；在办公室就认真做好自己的事；规定自己每天要读闲书，走一万步；晚上一定要记得和父母报个平安。渐渐地，自己的焦虑不安逐渐被充实幸福所取代。这或许可以称之为执着于过程，但有些时候，坚持这种执着真的不是一件容易的事。大概有一两个月的时间，我开始适应了广州的学习生活，我进入了另一种状态，我想我们的漫漫人生路中有很多这样的岁月，它们会伴随着我们的成长在流年中渐渐消逝，但这过程中的每件事都似草原上的一簇小红花，我们往往会被这一抹红色先吸引，进而看到一片绿色的草原，小花会因花期而凋落，我们却最终会在这一片草原中成长起来。



温柔半两

在生命里，人人都有酣畅淋漓的大笑，也有痛彻心扉的泪水；在生活中，人人都有幸福和烦恼，这是生活百态，人生之路多是顺少逆多。但生活有时相对的，且从不是绝对的。曾在一本书中看到这样一段禅语——“高高山上云，自卷自舒，何亲何疏；深深涧底水，遇曲遇直，无彼无此。众生日用如云水，云水如然人不尔。若得尔，三界轮回何处起”。在绝壁之处总有一米阳光，保持快乐的心情，以明净清朗之心应对这个复杂的世界。面对跌倒失败，首先端正自己态度，摒除憎恨、批评、内疚、恐惧这四种坏习惯，但不可否认这种坏习惯是人面对事情时候的一种惯性，因为害怕承担责任，推迟解决问题的时间，我们因此陷入了极大的不安全感。各种负面情绪犹如温床，尽管知道赖床只会让人越来越沮丧，我们却缺乏一跃而起的勇气。

这时候，我们要勇于面对这些负面的情绪，学会真正的俯视自己，知道自己的目标与局限，心理学上会这样解释，人生唯一的安全感，来自于充分体验人生的不安全感。我们会在人生路上跌倒、失败，有时候我们会想怎么没人教我如何跌倒、怎么面对失败啊？但根据相对的角度又可以这样解释，我们经历了跌倒、认识了失败，是不是就学会了这段经历了？我更愿意这样说，我走过的每一步不一定是完美的，但每一步都是我曾经以极大地热忱和勇气踏下的。生命中某些充满怨怼的曲折，都最终会以一种养分和能量的姿态重新拥抱我们，有些人、有些事在经过时间这个天然的滤网

后，几乎都只剩下笑与泪与感动和温暖，曾经的怨与恨与屈辱与不满都已经烟消云散了啦！



最后以《麦克阿瑟回忆录》一句话作为结语，“回忆是奇美的，因为有微笑的抚慰，也有泪水的滋润”。

王嘉琦

2017.5.7 晚

三维荧光---你的世界太难懂

唐娇

兜兜转转一年时间，说过去就过了，真如了那句话，时光荏苒，光阴不在。回想去年这个时候在云南出差，每天劈材，烧材的日子也挺惬意。那时候对自己要做的东西懵懵懂懂，整天就是看文献，找方法，直到遇到了你——三维荧光（有高人指点），我发现我做的东西，终于有点不一样了。就这样，我来到你的世界，试着了解你。

三维荧光，顾名思义，就是由荧光激发、发射波长和荧光强度组成荧光数据阵(刘志宏 and 蔡汝秀 2000)。荧光的产生，是物质从激发态失活到多重性相同的低能状态时所释放的辐射，是辐射跃迁的一种。它优点在于不仅参数信息丰富，测定迅速，灵敏度高；而且还可以全方位观测样品的荧光性质，有助于结构分析，提高判别的准确性。因此，三维荧光矩阵广泛用来研究复杂化合物具有吸光性和荧光的发色光团的光学和结构特征的一项技术(Chen, Miyazaki et al. 2016)。

而对于三维荧光的测定，方法步骤很简单，做起来心情相当愉快，就是把采集回来的膜上面的有机碳溶解下来就可以了，简单说就是超声过膜就 ok 了，得到的溶液即可利用荧光分光光度计进行测定。看似前面一马平川，其实当看到庞大的数据量的时候，就懵了。但是不行也得上，学啊。来来来，Parafac 法，不就是编程嘛

（网上有教程），最先看了几遍方法，慢慢的有所了解。不过在运行 MATLAB 的时候，问题出来了，压根没用过这么高大上的软件，在这里要感谢莫扬之师兄给我的引导，以及江龙飞师兄教我如何代入数据，从那时候开始，我觉得我算是开始有点入门了，就像集在胸中的难题一朝得到解决，正所谓入了门才能学到更高深的东西。在这里我就以 HULIS 数据组为例，演算一遍数据解析。

我用的 MATLAB R2016a 软件进行数据处理，

Parafac 法主要参考该篇文献(Stedmon and Bro 2008)。先加载数据途径，读取数据，然后重组成一个三维数组矩阵。所有数据组成一个 $28 \times 98 \times 71$ 的荧光数据阵如图 1 所示。图 1 来自文献(Murphy, Stedmon et al. 2013):

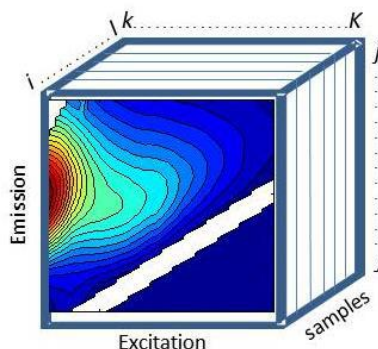


图 1 三维荧光矩阵

数据导入后，可以利用 PlotEEMby4 程序画图：

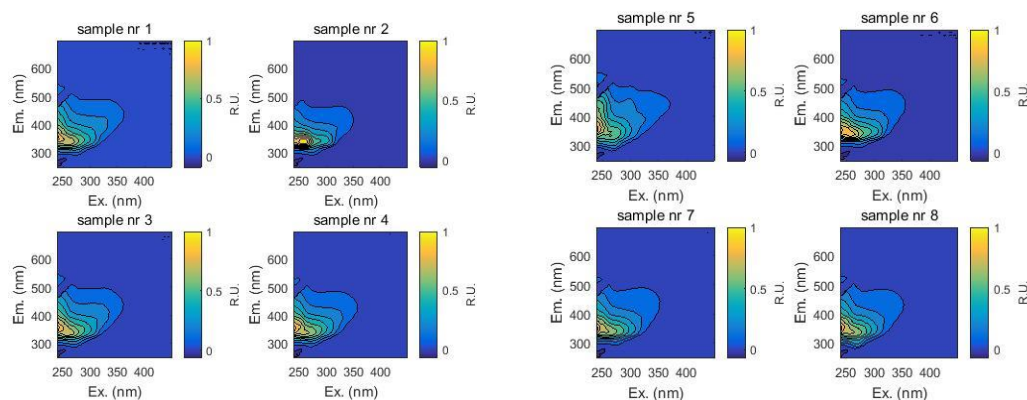


图 2 三维荧光谱图

图 2 是样品中的 8 个三维荧光图，这里就不一一放出来了，实话说用 MATLAB 作图还挺漂亮，由于三维荧光的数据已经经过内滤镜处理，去除散射峰，以及归一化处理。所以数据可以直接进行后面的运行。

最重要的就是进行离群值测试，去除特殊的样品和波长，选取最适合的数据组。成分数 N 选取 2-6，利用 PlotLoadings 和 PlotLeverage 测试成分数的模型。前者主要确定他们是否是平滑和具有光谱外观，后者主要看是否具有极端的值。例如 PlotLoadings(Test1,2)即对 Test1 数据，成分数 N 为 2 进行作图。后面依次测试成分数 N 为 3、4、5、6。

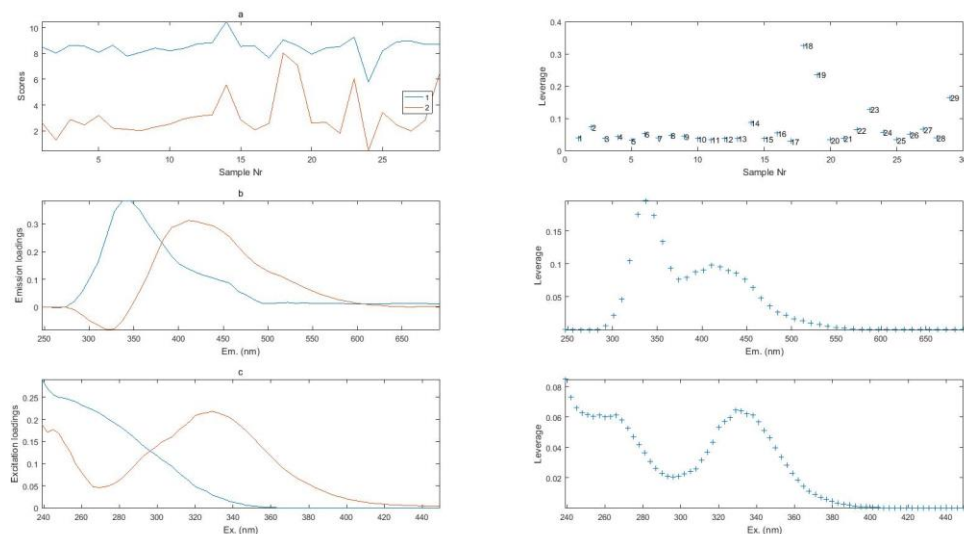


图 3 PlotLeadings and PlotLeverage of Test1

图 3 为 Test1 的成分数 N 为 2 的 Leadings 和 Leverage 图，可以看出 Leadings 图存在负值，且成分数 N 为 3-6 都存在同样的问题。因此，我们进行第二次测试，采用非负性限制，同样选取成分数 N 为 2-6 的进行测试。

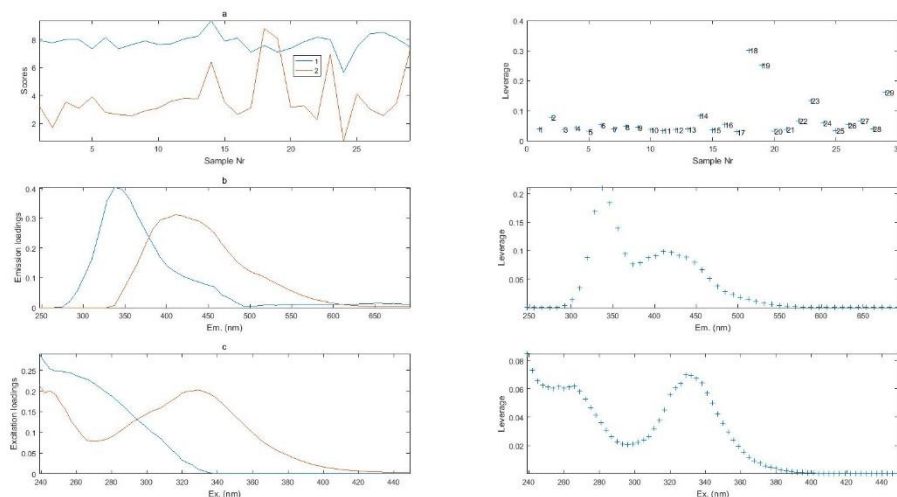


图 4 PlotLeadings and PlotLeverage of Test2

图 4 为 Test2 成分数 N 为 2 的 Leadings 和 Leverage 图，该图比其他成分数 N (3-6) 测试更符合要求的，但是 18、19 号样品属于离

群值，需要去除，所以我们利用 RemoveOutliers 函数去除 18、19 号样品后，再一次进行验证。但是去除 18、19 号样品后发现再新一轮验证中，出现了更多的离群值，所以，我们的模型选择不去除 18、19 号样品。

经过前面几步，我们基本选取成分数 N 为 2 的模型，因此我们评估主要成分数 N 为 2 的模型，主要看残差值。

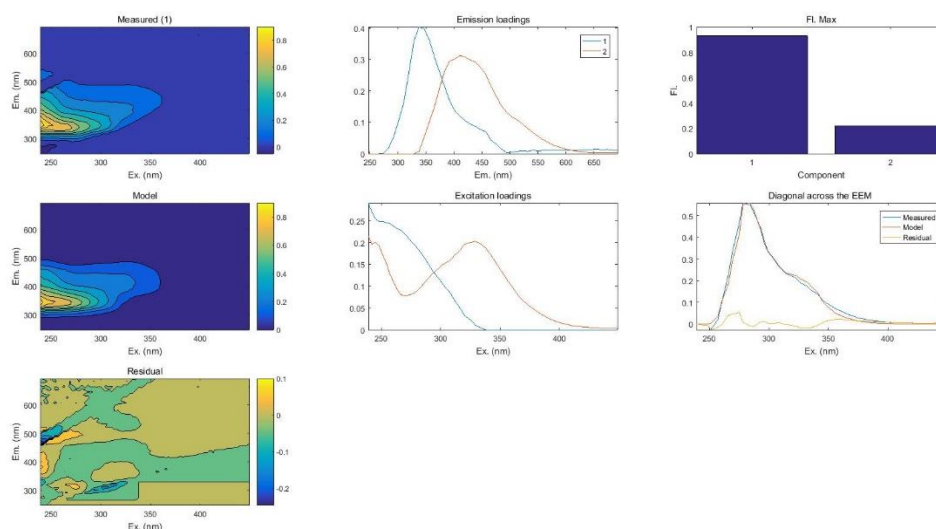


图 5 成分数 N 为 2 的 Sample1 的评估模型图

图 5 可以看到成分数 N 为 2 时的残差值很低。且余下的样品的残差值也很低（此处未给出）。

测试和评估阶段完成后，最后利用分对半分析（Split Half analysis）以及 Tucker Congruence Coefficients(TCC)验证模型。

经过以上过程，我们最终确认了成分数为 2 的模型，使用 ComponentEEM 即可画出分解图，如图 6 所示，是数据组分解出的两个成分。

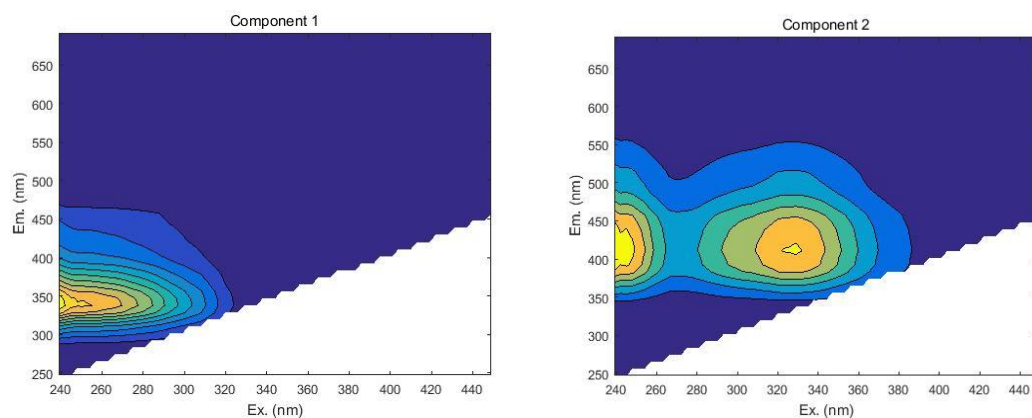


图 6 Parafac 法分析下的两因子的荧光光谱图

最后，我觉得对于数据的处理，首先碰到的问题就是数据量太小，不能进行太多的限制约束；其次，对数据的准确分解还需要用更多的模型来验证。

- Chen, Q., Y. Miyazaki, K. Kawamura, K. Matsumoto, S. Coburn, R. Volkamer, Y. Iwamoto, S. Kagami, Y. Deng, S. Ogawa, S. Ramasamy, S. Kato, A. Ida, Y. Kajii and M. Mochida (2016). Characterization of Chromophoric Water-Soluble Organic Matter in Urban, Forest, and Marine Aerosols by HR-ToF-AMS Analysis and Excitation-Emission Matrix Spectroscopy." Environ Sci Technol **50**(19): 10351-10360.
- Murphy, K. R., C. A. Stedmon, D. Graeber and R. Bro (2013). "Fluorescence spectroscopy and multi-way techniques. PARAFAC." Analytical Methods **5**(23): 6557-6566.
- Stedmon, C. A. and R. Bro (2008). "Characterizing dissolved organic matter fluorescence with parallel factor analysis: a tutorial." Limnology & Oceanography Methods **6**(11): 572-579.
- 刘志宏 and 蔡汝秀 (2000). "三维荧光光谱技术分析应用进展." 分析科学学报 **16**(6): 516-523.