

•科普•

doi: 10.3866/PKU.DXHX202209047

www.dxhx.pku.edu.cn

微塑料污染与高分子的未来 ——高分子家族主题会议纪实

刘鹏*

兰州大学化学化工学院, 高分子科学与工程研究所, 兰州 730000

摘要: 在 高分子科学发展百年之际, 可以说, 合成高分子已经成为人们生活必需的现代材料。但是, 难降解的微塑料污染又将高分子材料推上了风口浪尖, 大有“谈塑色变”之势。本文通过一个小故事, 通俗易懂地科普微塑料污染产生的原因, 并据此介绍高分子材料的未来发展方向。

关键词: 高分子; 环境污染; 回收; 生物质

中图分类号: G64; O6; TQ320.9

Microplastic Pollution and the Future of Polymer: Minutes for Theme Meeting by Polymer Family Members

Peng Liu *

Institute of Polymer Science and Engineering, College of Chemistry and Chemical Engineering, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China.

Abstract: At the time for a centennial development of polymer science, the synthesized polymers have been the modern materials to benefit the people's livings. However, the microplastic pollution, an important global concern with respect to the reputation of the polymers, is now seriously considered mostly due to the misuse of the naturally undegradable polymers. In this paper, a short story about the microplastic pollution is presented, and the development and improvement of the polymer materials in the future are introduced.

Key Words: Polymer; Environmental pollution; Recycling; Biomass

公元2022年夏天的某个晚上, 高分子家族的三兄弟作为各自团队的代表, 以“微塑料污染与高分子的未来”为主题召开了家族有史以来最重要的一次主题会议, 讨论近几年来被各种媒体炒作的沸沸扬扬的“微塑料”问题。

作为会议的召集人, 出生于现代社会的家族老三——生物基高分子年轻气盛, 意气风发地做了开场白。他首先大致回顾了“微塑料”时间的始末: 2004年, 英国普利茅斯大学的汤普森等人在*Science*杂志上发表了关于海洋水体和沉积物中塑料碎片的论文, 首次提出“微塑料(microplastics)”的概念^[1], 被形象地称为“海中的PM2.5”, 随后, 科学家们相继在南极海冰^[2]、马里亚纳海沟^[3]以及人类粪便^[4]、肺脏^[5]、血液^[6]和胚胎^[7]等处检测到微塑料, 再次将废塑料污染推上了舆论的风口浪尖。

他瞥了一眼既委屈又无奈的家族二哥——石油基高分子, 心里暗想: 我是整个家族的绿色希望, 近几年刚刚发展了一大批粉丝, 现在要和你一起承担白色污染的骂名, 太不公平了! 你还觉得委屈?

收稿: 2022-09-20; 录用: 2022-12-20; 网络发表: 2023-02-23

*通讯作者, Email: pliu@lzu.edu.cn

基金资助: 兰州大学教育教学改革项目(JYXM-2020-2013)

他将矛头直指他眼中家族的“暴发户”——腰缠万贯的二哥，并借用哪吒乐队《环形公路》中的歌词“你觉得恨却离不开”概括了二哥纠结的世纪之旅。他指出，由于二哥的问题，他们家族由大众眼中的“白色革命”沦为“白色污染”，被世界多国发布“限行令”，成了过街老鼠。并特别强调，二哥应该对此次事件负完全责任。

生性谦逊朴实的家族老大——天然高分子在听完三弟慷慨激昂的发言后，沉默良久，觉得自己身为家族老大，应该站出来为二弟主持公道。他捋了捋自己的白胡子，语重心长地对三弟说：“就现在来看，虽然你的团队发展势头很猛，但对于整个家族来说，你二哥团队的贡献还是最大的。”他首先做了自我批评：“作为大哥，我的团队，包括棉、麻、丝、毛等，几千年前就开始参与人类的文明进步，但我们的生产需要用地，尤其在中国，耕地资源有限，要用不到世界7%的耕地养活占世界22%的人口，‘鸭梨’山大啊！在生产力不发达的时期，粮食和棉花的生产在土地资源配置上存在着一些竞争关系，形成“粮棉争田”的历史格局，实际也就是人们的“温”和“饱”的平衡问题(图1)。当然，那个时候三弟你还没有出生，这些情况你都不知道，所以你对二哥这个咱们家族最大的功臣有些误会也情有可原。”



图1 “粮棉争田”与“温饱问题”

他继续说道，“在这样的严峻形势下，你二哥挺身而出，在咱们的父亲——德国化学家赫尔曼·施陶丁格的指引下，经过几十年的磨练，发展了庞大的石油基高分子团队，满足了人们医疗卫生、交通运输、城市建筑、航空航天、电子电器、包装密封及日常生活等方面的种种需求。”说到这里，他也有些不好意思，拉着二弟的手对三弟说：“当然，你二哥带领他的团队一起也解决了我的团队因为身体(分子结构和聚集态结构)原因不能完成的使命，只用了短短几十年的时间，就超越了我的团队几千年的发展，我要感谢你的二哥和他的团队，使得我们家族可以得到发扬光大！就以人们的穿衣问题来说，你二哥在中国经过短短四十几年的发展，实现了芳烃技术从‘跟跑’到‘并行’再到‘超越’的跨越式发展。现在以对二甲苯为原料生产的高分子材料占到了纺织原料的65%，可以替代2.3亿亩土地生产的棉花，为解决‘粮棉争田’、守住18亿亩耕地红线做出了重要贡献，被人们与‘袁爷爷(袁隆平)解决了中国人的吃饭问题’相提并论，誉为‘芳烃技术解决了人民的穿衣难题’。这是多么辉煌的成就啊！”说到这里，他伸手指着老三身上时髦的夏装，继续说道：“没有你二哥，哪有你现在身上穿的这又舒适又漂亮的衣服。”

老三闻言有些不好意思，讪讪地解释道：“我也是为污染问题着急嘛！并没有想要否定二哥的丰功伟绩。”

看着两个弟弟的矛盾得到了缓解，作为老大，他很欣慰，喝了一口茶后，娓娓道出了最近一直萦绕在他心头的难题：“其实，除了白色污染这个黑锅以外，你二哥团队的发展已经引起了隔壁能源家族的不满。他们认为，你二哥团队的扩张式发展已经威胁到他们的安全……”

三弟着急地站起来，大声问道：“我二哥的发展跟他们有半毛钱的关系吗？怎么还影响到他们家族的安全？”

老大走过来拍了拍三弟的肩膀示意他坐下，笑着说：“看！看！看！你可以对你二哥有意见，但不允许别人对你二哥说三道四。能源家族他们对你二哥有成见也有一定的道理，他们家族的石油、煤、天然气等化石能源老哥几个被你二哥挪用作为生产的原料，发展自己的事业，势必造成能源的紧缺问题，所以人家才不惜巨资发展非化石能源。当然，他们现在也发展得很好，他们家族的老么们——风能和太阳能现在不就是‘风’‘光’无限嘛。说到这里，我也得说你几句，你的团队现在生逢盛世，聚‘天时、地利、人和’，也要像能源家族的小么一样，尽快扛起我们家族发展的大旗啊！”

三弟笑着回答道：“大哥，我们也有明显进步啊！您知道的，植物废弃物经微生物发酵生产乳酸^[8]，再经聚合合成可生物降解的聚乳酸(polylactic acid, 简称PLA) (图2)^[9]，适用于吹塑、热塑等各种加工方法，可用于加工从工业到民用的各种塑料制品、包装食品、快餐饭盒、无纺布、工业及民用布等。使用后能被自然界中微生物完全降解，最终生成二氧化碳和水，不污染环境。”说到这里，三弟有些许得意，“通过这些技术，不仅解决了‘材(料)能(源)争油(煤)’问题，二哥再也不用和能源家族争夺原料了；用完以后，我们生物质高分子可在自然环境中降解，不产生环境污染，‘化作春泥更护花’ (图3)，实现了‘取自于自然，回归于自然’的绿色之旅。”

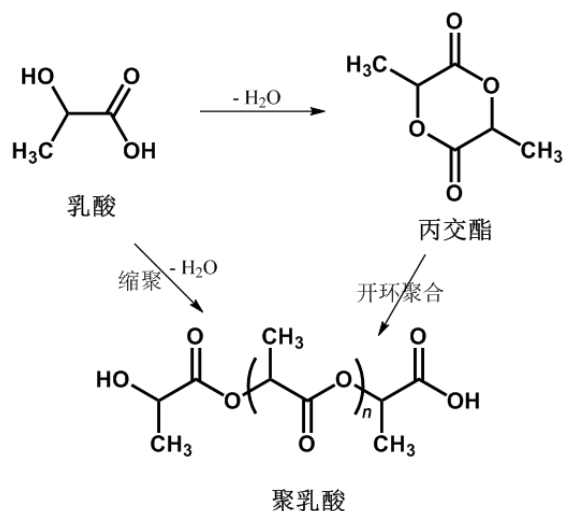


图2 聚乳酸合成方法

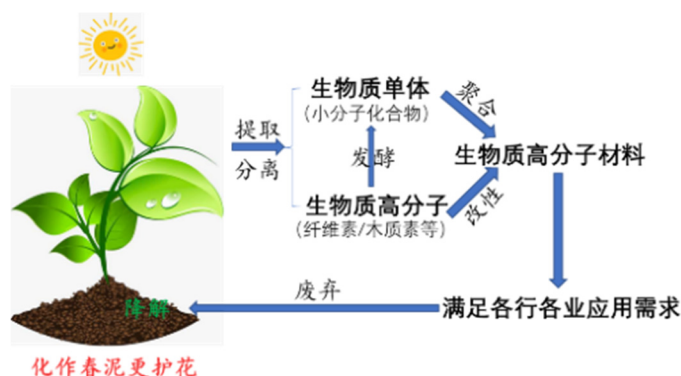


图3 生物质高分子的绿色生命之旅

一直保持沉默的二哥随声附和：“还是咱们小三厉害呀，解决了限制我们家族发展的‘源头’和‘结局’两个大问题。长江后浪推前浪，我迟早是要退出历史舞台的。”说到这里，他有些沮丧，“背上白色污染的黑锅退休，我心不甘啊！白色污染源自于我，但罪不在我啊！”

大哥有些不解,“三大合成高分子材料(塑料、橡胶和纤维)中塑料的应用最为广泛,从1950年至2015年,人类已经生产了83亿吨塑料制品,约60亿吨成为废弃物(其中约49亿吨被直接填埋或被遗弃,直接焚烧8亿吨)^[10],导致了严重的环境污染。怎么还罪不在你?”

二哥解释道:“我们团队的‘四大金刚’(聚乙烯、聚丙烯、聚苯乙烯和聚氯乙烯四兄弟)钢筋铁骨(碳链主链),在自然环境中降解需要几百年的时间。废弃到自然环境中后,缓慢降解,产生碎片,也就是微塑料,随着风或水扩散至全球的任何一个角落。进入海洋后,这些‘海中的PM2.5’被鱼儿吃了,就进入了鱼儿体内,人们再吃鱼,就间接地摄入了微塑料^[11]。但人们如果不随意丢弃垃圾,怎么会产生这样的污染?”

大哥又问道:“不对呀,你们团队的聚对苯二甲酸乙二酯(PET)是杂链的(图4),应该能够降解的,为什么也成了主要的微塑料污染之一?”二哥解释道:“PET虽然主链中包含可水解的酯键,类似的还有尼龙、酚醛树脂、聚甲醛等兄弟们,他们的骨架中都含有可水解的极性键,理论上是可以降解的,但在自然环境降解也需要很长时间呀!就拿PET来说,即使环境湿度达到100%,其降解仍需要数百年。”

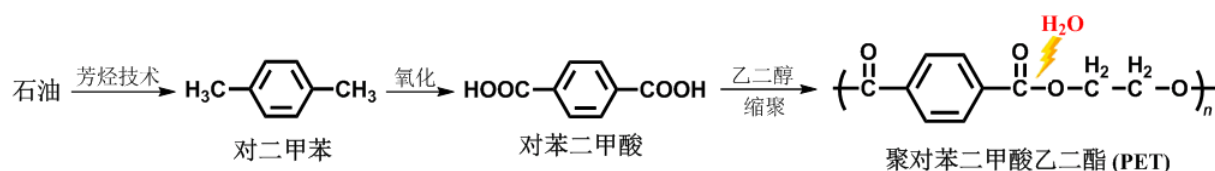


图4 PET合成路线及降解机理

大哥着急地问道:“那可怎么办呢?”

三弟抓住机会展示自己的独门绝技,同时也是在为大哥打气:“我们现在以生物质为原料,可以通过生物炼制(Biorefinery)技术生产稀缺的绿色化工原料,包括2,5-呋喃二甲酸(FDCA)、丁二酸、乙酰丙酸和木糖醇等应用广泛但石化路线难以制备的平台化合物。这个FDCA可了不得,被美国能源部筛选为十二种最有可能实现石油基替代的生物基平台化合物,可用于替代合成PET的石油基单体对苯二甲酸。而且相对于PET,基于FDCA的聚呋喃二甲酸乙二酯(PEF)具有更高的玻璃化转变温度和更好的气体阻隔性(图5),已经成PET的理想替代品之一^[12,13]。更重要的是,由于FDCA的特殊结构,PEF比PET更易于生物降解。”

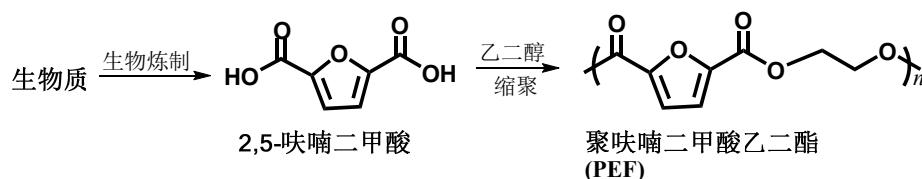


图5 PEF合成路线

大哥接着问道:“那现在正在使用的塑料废弃后该怎么处理呢?数量也很大呀!”

二哥义愤填膺地道出自己的委屈之处:“办法也不是没有,只是人们不配合,害得我要背这个黑锅。”

大哥着急说道:“有办法你倒是说啊,这个时候还卖什么关子。”

二哥解释道:“只要人们不再随意丢弃垃圾,严格执行垃圾分类,就有办法解决白色污染问题(图6)。可将废弃物分类,经清洗、粉碎后,重新加工成新的低端产品。以钢筋铁骨的四大金刚来说,经过物理回收再利用后,通过热裂解技术处理后可以得到燃料油和可燃气体等产物,不仅可以有效回收处理废旧塑料,还可以得到具有较高附加值的产品,实现‘源自于油、归之于油’的资源化循

循环利用。而对于PET、尼龙、酚醛树脂、聚甲醛等可降解材料来说,可以通过化学法或者微生物法加速其废弃物的降解。比如,中国科学家通过对一种目前已知最有效的PET水解酶改造,进而获得了新型PET水解酶,并且其活力更强、热稳定性更好。还具有特异性高的优势,不需要使用对环境有害的催化剂,而且降解的最终产物对苯二甲酸作为PET原料,可用于重制符合商用标准的PET,无需降级使用^[14]。理论上讲,这种方法可以实现材料资源的无限循环,不会产生白色污染。此外,研究者也在尝试培育以废塑料为食的细菌,降解速度是自然降解的3000倍^[15]。”



图6 废塑料的回收-再利用

三弟高兴地说:“有这么好的办法,你为什么不早说呢?”

二哥此时也恢复了往日的自信,坚定地说:“方法总比困难多,关键看人们是否愿意。只要人们提高环保意识,尽可能减少塑料使用,尤其是一次性使用,减少废弃塑料总量。然后,将废塑料按上述方法处理,不仅不会产生环境污染,还可以创造新的经济效益呢!”

此时,三弟明白在微塑料和白色污染的问题上,确实是自己冤枉了二哥,于是说道:“在二哥这样精明的商人眼里,到处都是商机啊!我可要好好向你学习呢。”

大哥说道:“说得对!在注重环境效益和社会效益的同时,也要提高经济效益嘛!这方面,你可得好好向你二哥学习。”三弟兴奋地拉着大哥二哥的手说:“你们要一如既往地支持我哦!”

最后,大哥做总结发言,他指出,微塑料和白色污染问题虽源自于二弟,但罪不在二弟!只要人们增强环保意识,再加上我们哥仨的共同努力,一定能实现青山绿水的中国梦!

参 考 文 献

- [1] Thompson, R. C.; Olsen, Y.; Michell, R. P.; Davis, A.; Rowland, S. J.; John, A. W. G.; McGonigle, D.; Russell, A. E. *Science* **2004**, 304 (5672), 838.
- [2] Kelly, A.; Lannuzel, D.; Rodemann, T.; Meiners, K. M.; Auman, H. J. *Mar. Pollut. Bull.* **2020**, 154, 111130.
- [3] Peng, X.; Chen, M.; Chen, S.; Dasgupta, S.; Xu, H.; Ta, K.; Du, M.; Li, J.; Guo, Z. *Geochem. Perspect. Lett.* **2018**, 9, 1829.
- [4] Zhang, N.; Li, Y. B.; He, H. R.; Zhang, J. F.; Ma, G. S. *Sci. Total Environ.* **2021**, 767, 144345.

-
- [5] Jenner, L. C.; Rotchell, J. M.; Bennett, R. T.; Cowen, M.; Tentzeris, V.; Sadofsky, L. R. *Sci. Total Environ.* **2022**, *831*, 154907.
- [6] Leslie, H. A.; van Velzen, M. J. M.; Brandsma, S. H.; Vethaak, A. D.; Garcia-Vallejo, J. J.; Lamoree, M. H. *Environ. Int.* **2022**, *163*, 107199.
- [7] Ragsa, A.; Svelato, A.; Santacroce, C.; Catalano, P.; Notarstefano, V.; Carnevali, O.; Papa, F.; Rongioletti, M. C. A.; Baiocco, F.; Draghi, S.; *et al.* *Environ. Int.* **2021**, *146*, 106274.
- [8] Ahmad, A.; Banat, F.; Taher, H. *Environ. Technol. Innov.* **2020**, *20*, 101138.
- [9] de Albuquerque, T. L.; Junior, J. E. M.; de Queiro, L. P.; Rocardo, A. D. S.; Rocha, M. V. P. *Int. J. Bio. Macromol.* **2021**, *186*, 933.
- [10] 郑强. 高分子通报, **2022**, No. 4, 1.
- [11] 邓子强, 宋红杰, 刘睿, 吕弋. 大学化学, **2022**, *37* (9), 2110069.
- [12] Fei, X.; Wang, J. G.; Zhu, J.; Wang, X. Z.; Liu, X. Q. *ACS Sustainable Chem. Eng.* **2020**, *8* (23), 8471.
- [13] 朱锦, 刘小青. 生物基呋喃聚酯. 北京: 科学出版社, 2020.
- [14] Zeng, W.; Li, X. Q.; Yang, Y. Y.; Min, J.; Huang, J.-W.; Liu, W. D.; Niu, D.; Yang, X. C.; Han, X.; Zhang, L. L. *ACS Catal.* **2022**, *12*, 3033.
- [15] Yoshida, S.; Hiraga, K.; Takehana, T.; Taniguchi, I.; Yamaji, H.; Maeda, Y.; Toyohara, K.; Miyamoto, K.; Kimura, Y.; Oda, K. *Science* **2016**, *351* (6278), 1196.