

我国开发并推广无氟防油植物纤维食品包装的现状和紧迫性

doi:10.3969/j.issn.1674-7100.2024.02.009

张志豪 程雁飞

深圳市裕同包装科技股份有限公司
环保研究院
广东 深圳 518108

摘要: 植物纤维作为一种天然高分子材料,常被加工成各种纸和纸板制品用于一次性食品包装,有望替代传统塑料材料。但植物纤维防油性能不佳,目前常使用含氟有机化合物(PFAS)进行处理以提升防油性。然而,因为食品安全风险和环境保护原因,国外已有部分国家和地区制定了法规禁止在食品包装中使用PFAS,转而推广无氟(PFAS-free)防油食品包装。目前,我国无氟防油植物纤维食品包装主要有两条技术线路,能提供无氟防油解决方案的企业有十几家,但无氟产品在我国推广还存在几个方面的难点:检测标准未统一、产品性能不足、成本偏高、推广力度不够。作为大众消费品的食品包装,使用短链PFAS也存在安全风险;PFAS释放到环境中的途径多样,因而阻止PFAS释放很难;允许部分PFAS成分在食品包装材料中使用,增加了监管的难度。因此,我国应当尽快推广无氟植物纤维食品包装,利用好这次从有氟到无氟的切换过程,换道超车,孵化出拥有中国自主知识产权的食品防油技术,打造世界知名品牌。

关键词: 植物纤维;食品包装;无氟;防油

中图分类号: TB484.6; TS206.4

文献标志码: A

文章编号: 1674-7100(2024)02-0068-10

引文格式: 张志豪,程雁飞.我国开发并推广无氟防油植物纤维食品包装的现状和紧迫性[J].包装学报,2024,16(2):68-77.

植物纤维是一类天然高分子材料^[1],具有来源广泛、成本低廉、易于加工、无化学残留风险的优势,非常适合生产安全卫生要求较高的食品包装^[2],因而常被加工成平张纸、瓦楞纸、纸浆模塑、纤维素膜等(考虑GB 9685—2016《食品接触材料及制品用添加剂使用标准》中的材料分类,下文用“纸包装”指代所有“植物纤维包装”^[3]),这些纸包装多用于快餐、外卖、街头零食等一次性使用、大量消耗的场景^[4]。

纸包装可再生、可循环、可降解的特性,成为了当下替代塑料的主要材料。

然而,未经特殊处理的原始纸包装防油性能不佳。植物纤维交织成的片层网状结构含有大量疏松孔隙,纤维表面含有的大量羟基使得固相表面能很高^[5-6],因而油脂这类表面能低的液体非常容易浸润原始纸包装表面,进而借由毛细作用渗透纸包装。国内目前使用最多的防油工艺有两种:一种是使用石油

收稿日期:2023-11-20

作者简介:张志豪(1984-),男,上海人,深圳市裕同包装科技股份有限公司,主要从事环保包装材料和产品的研发,
E-mail: zhangzh@szyuto.com

通信作者:程雁飞(1981-),男,山西长治人,深圳市裕同包装科技股份有限公司高级工程师,主要从事环保包装材料和产品的研发, E-mail: chengyf@szyuto.com

基的聚合物, 如聚乙烯 (polyethylene, PE)、乙烯-乙醇共聚物 (ethylene-vinyl alcohol copolymer, EVOH)、丙烯酸 (acrylic acid, AA) 等覆膜或者淋膜一层阻隔层来防油^[7]。但在全球去塑的大背景下, 这种方案没有完全杜绝一次性塑料污染, 反而还增加了纸包装降解、回收的困难^[1], 故不符合可持续发展要求。而且, 此类聚合物普遍透湿性较差, 容易引起食物的返潮导致食物的口感变差^[5]。另一种是使用氟烷基物质 (per- and polyfluoroalkyl substances, PFAS) 降低纸纤维的表面能, 使油液无法浸润纤维层并渗透。因为纤维孔隙并未堵塞, 水蒸气可以透过纸张, 避免返潮问题^[8]。但 PFAS 的安全性也一直饱受诟病, 其家族中的长链 PFAS (通常指含氟烷基由 8 个或以上碳原子骨架组成, 简称 C8 及以上氟烷) 在 20 世纪 90 年代被证实普遍具有环境持久性、长距离迁移性、生物累积性、生物毒性^[9], 已被各国和国际组织禁止在包括食品包装在内的各种消费品中使用^[10-12]。目前市场上使用的都是短链 PFAS 防油剂 (C6 及以下氟烷)^[7]。然而近两年, 很多研究发现短链 PFAS 也有类似的风险。于是, 各国要求全面禁用所有 PFAS 化合物的呼声很高, 尤其在食品包装领域, 一些国家和地区已经推广使用无氟防油食品包装。(PFAS 在食品接触材料领域另有一大用处, 是作为不粘涂层, 用在家庭烹饪用具和食品加工厂的产线上。其安全性与食品包装用防油剂的情况略有差异。因篇幅所限, 未纳入本文讨论的范畴。) 综上, 本研究先阐述我国无氟防油植物纤维食品包装的技术和市场现状, 再分析我国推广无氟防油植物纤维食品包装的难点与意义, 以期为我国推广无氟防油植物纤维食品包装提供参考。

1 我国无氟防油植物纤维食品包装的技术现状

所谓“无氟”(PFAS-free)防油植物纤维食品包装并不是一项新发明。20 世纪 90 年代前, 我国防油食品纸包装基本都是“无氟”的, 主要是以提高纸张的打浆度, 减小纤维之间空隙的方式而来延缓油液渗透^[13], 也有使用硬脂酸、石蜡等对纸张进行施胶处理^[14]的, 但总体防油性能并不理想。彼时, 受限于我国氟化工技术, 虽然我国 60 年代已经研发出含氟表面活性剂, 但高昂成本让其只能用在一些重

点工业领域^[15]。此外, 国内对防油食品纸包装需求量不大, 产品标准不统一, 相关研究投入比较少^[16]。之后, 90 年代市场需求激增, 国外高技术的含氟防油产品随之引入, 因其无可匹敌的性能, 导致无氟防油的研究一度陷于停滞。当时, 各研究机构和院校都将精力投入到对进口含氟防油剂的国产替代^[17], 或者优化配比以减少昂贵进口产品使用量的研究中^[18]。直到 2010 年, 国外要求禁氟的呼声越来越高, 国内才又开始重视无氟防油技术的研究。

目前国内无氟防油植物纤维食品包装的研发方向主要有两个:

1) 使用各种生物高分子成分, 通过内添加施胶或表面涂布的方式处理纤维, 从而阻止或延缓油液渗透。常用的材料有: 生物蜡、淀粉、蛋白质、多糖、纤维素等。实际使用时经常会复配多种材料。例如: 刘东阳^[19]用淀粉对纸张进行预处理, 之后用微晶蜡乳液进行表面施胶, 发现纸张的防水防油性能大幅提升, Kit 值最高可达 8 级。曹云峰等^[20]发明了一种壳聚糖栲胶基树脂, 其防油 Kit 值高达 12 级。徐艳等^[21]利用氧化纳米纤维素和壳聚糖复配, 进行表面涂布, 纸张最高防油等级达到 12 级, 且具备耐热油性能。这个方向上的研究成果比较丰富, 但技术性能还不成熟, 且受限于成本, 大都没有产业化。

2) 在纸张上构建超疏油表面以形成类似荷叶效应, 使得油液无法润湿纸纤维层, 从而有效阻止油液渗透。例如: 张祥斌^[22]利用纳米二氧化钛和有机硅氧烷组合制备涂料。通过浸涂法处理的纸张, 甘油接触角达到 155°, 乙二醇接触角达到 142°, 这说明此纸张具有良好的疏油性。姜尚杰^[23]在研究双重响应超疏水纸张的制备及性能时发现, 将氨基改性二氧化硅接枝在特定聚合物上, 在某些温度和 pH 条件下, 油滴在处理后的纸表面 5 h 后, 仍然能保持原有的接触角 158°。这条技术路线有望完全替代含氟类表面能防油剂, 但目前技术不成熟, 未见有实用化的案例。

2 我国无氟防油植物纤维食品包装的市场现状

我国于 20 世纪 80 年代, 通过洋快餐认识到了专业防油纸包装的重要性, 才大力发展相关产业^[5]。目前国内市场上的防油纸包装仍然主要是覆膜和含氟

类的产品^[24]。而本文所说的不使用 PFAS 成分的“无氟防油植物纤维食品包装”是近两年提出的概念。在 2020 年以前，“无氟”概念主要被用在牙膏、冰箱制冷剂上，个别行业如纺织整理剂替代^[25]、消防泡沫替代^[26]领域也有提及，但并未在食品包装行业强调。2020 年网上刊登的一篇文章直指多家快餐连锁品牌纸盒中发现有毒物质 PFAS^[27]，这才将无氟食品包装的概念带入国内公众视野，但此话题迅速冷却，未引起类似苏丹红、塑化剂这样的热烈讨论。时至今日，国内市场上销售的纸包装产品依然很少有宣传“无氟”或“PFAS-free”的。

另一方面，笔者从相关产业渠道了解到，国内企业无氟防油纸包装的产量却不小，基本都用于出口欧美等一些已经有禁氟政策或者有禁氟意识的市场。根据东兴证券 2023 年的调研报告^[28]，我国 2022 年纸制餐饮具出口规模约 59.16 万 t，纸浆模塑餐饮具出口规模约 23.67 万 t，合计 82.83 万 t。同年，国内纸制与纸浆模塑餐盒用量共计 20 万 t 左右。出口规模是国内自身消耗的 4 倍。此外，2022 年我国塑料餐饮具出口近 200 万 t，国内需求量约 100 万 t。在当前替塑的大环境下，纸质一次性餐饮包装在国内外都有着巨大的市场前景。可见，无氟防油纸包装有着巨大的市场潜力。

目前国内市场上公开宣布提供无氟防油解决方案的企业已有十几家，既有国外企业，也有国内企业，具体如表 1 所示。

表 1 我国市场上用于食品包装的无氟防油解决方案

Table 1 PFAS-free oil repellent solutions for food packaging in China

品牌	国家	产品
索理思	美国	TopScreen 系列
埃肯	法国	BLUESIL™ 系列
大金	日本	UNIDYNE XP 系列
裕同环保	中国	Fluozero
上海镁云	中国	MTC-8180
辉凯鼎瑞	中国	HG-5880
骏德环保	中国	GPT™ JT-3260
马普新材	中国	立普福™ Liproof
广州慧谷	中国	HZ5301
旭川股份	中国	无氟涂层
宁波嘉化	中国	NF 无氟内添防油剂
广东良仕	中国	无氟防油剂

3 我国推广无氟防油植物纤维食品包装的难点

3.1 我国针对无氟防油植物纤维食品包装尚未有统一标准

“无氟”在我国至今仍然是一个民间的称呼，国家或行业层面没有相应的标准来定义何为“无氟”防油包装。又因为 PFAS 是一种环境持久污染物，很多研究显示，国内环境中已经有大量 PFAS 的残留^[29-32]，要实现 PFAS 为零是不可能的，只能规定一个较低的限量，不超过即为无氟。目前，国内出口企业普遍会参考 3 个国外标准，见表 2。

表 2 我国出口企业无氟防油植物纤维食品包装限量参考标准

Table 2 Reference limit standard for PFAS-free oil-proof plant fiber food packaging of export enterprises in China

国家(地区)	管控法规	限量要求
美国加州	CA AB652	总有机氟 (total organic fluorine, TOF) $\leq 100 \times 10^{-6}$ ^[33]
欧盟	欧盟 5 国在欧洲化学品管理局 (European Chemical Agency, ECHA) 的禁氟提案	总氟 $< 50 \times 10^{-6}$ ^[34]
丹麦	第 681 号法令《关于食品接触材料条例和违反欧盟相关法规的刑法典的执行令》	总有机氟 $\leq 20 \times 10^{-6}$ ^[35]

PFAS 种类繁多，一些机构评估 PFAS 种类超过 10 000 种，而且还在不断增加^[36]，因而逐项排查出所有 PFAS 几乎是不可能的任务。目前主流的方法是测试氟元素或者有机氟元素总量来间接评估 PFAS 的量。然而，我国并没有针对食品纸包装中氟元素或者有机氟元素总量测试的国家或行业标准方法，导致即便规定了无氟的限量，认定也难以实现。造成的结果就是，市面上的无氟产品质量参差不齐，且难以辨别隐性添加。

3.2 现有无氟防油植物纤维食品包装的性能不足

根据食品包装业内人士反映，目前市售的无氟防油植物纤维食品包装主要存在以下不足：

1) 防油温度范围窄

很多无氟防油包装纸仅在特定温度段 (约 ± 15 °C 范围内) 具备防油能力，超过该范围则防油性能大幅下降。另外一些产品虽然高温防油可达 100 °C，但低温防油性能不佳，在 4 °C 以下的冷藏室中会发生渗漏。

2) 防油时间短

目前市售的无氟防油产品, 普遍仅能防油 30 min 左右, 个别能达到 1~2 h。这种时长, 尚不能满足一些长途航班飞机餐的需求, 更不用说预制菜带回家吃一周的情况。

3) 防油种类限制

一些无氟防油产品对不同油脂的防护性能也不同。比如, 很多用于中餐的防油产品装不了西餐橄榄油; 一些装西餐的防油产品装不了中式辣椒油。

4) 保质期短

目前无氟防油剂的保质期大都只有半年, 有些甚至只有三个月。如果不注意产品周转, 可能发生货物还在仓库, 纸包装就已经失效的情况。

5) 感官不佳

目前不少无氟防油产品会出现手感黏腻、掉屑、白抓痕等问题。如果不注意涂布工艺, 还会出现水波纹、印渍等影响美观的问题。如果是应用于纤维素膜, 还要考虑透光度。相比之下, PFAS 类防油剂只需要很少的添加量就能起到防油效果, 且几乎不改变纸基材料本身的外观和触感。

3.3 无氟防油植物纤维食品包装成本偏高

现有无氟产品生产成本仍偏高, 分析原因如下:

1) 防油剂价格高

虽然随着应用量的加大, 无氟防油剂的价格较前两年已经大幅降低, 但比含氟类的还是偏高, 根据世界经济合作与发展组织 (Organization for Economic co-Operation and Development, OECD) 的调查, 平均高 11%~32%^[37]。特别是很多企业使用生物质提取物作为原料, 现有工艺很难降低成本, 导致无氟防油剂价格居高不下。

2) 防油剂用量大

目前市面上的无氟防油剂的使用方式决定了其使用量很大。行业内使用量普遍会达到 4%~10%。与之相比, PFAS 类防油剂的使用量相对要少得多。一般浆内添加量在 1%~3%, 表面喷涂最低可以降到 1% 以下^[38-39]。

3) 产线切换成本

国内目前很多包装企业往往同时生产含氟和无氟产品。为防止交叉污染, 需要为无氟产品单独设定一条产线。随之而来增加了产线切换成本。

3.4 宣传推广力度不够

国内对 PFAS 危害性持续宣传较少, 导致消费者

普遍对其认知度不高。如 2020 年关于快餐食品包装含有毒物质 PFAS 的报道没有持续讨论。无独有偶, 在另一大类食品接触材料——烹饪用具中, 作为不粘锅被质疑有害的元凶 PFAS^[40] 一度被曝光, 也未引起国内消费者对这种物质危害性的认识。目前, 国内市场端缺乏推动无氟防油产品落地的动力。

4 我国应尽快开发和推广无氟防油植物纤维食品包装的重要意义

4.1 短链 PFAS 可能没有我们之前认为的那么安全

首先, 已有不少研究表明, 很多短链 PFAS 具有与长链 PFAS 类似的物理和化学特性, 只是在不同环境和生物体内表现的强度不同^[41-42]。例如: C4 的全氟丁烷磺酸类化合物 PFBS 就表现出与 PFOA、PFOS 类似的生物毒性^[43-45]。

其次, 之前认为短链 PFAS 生物体富集性较低, 但近些年的研究表明, 生物富集性的高低与碳链长短似乎并不严格对应。比如: 很早就有研究发现, PFHxS (6 个碳) 在人体内的半衰期高达 8.5 年, 比很多长链 PFAS 还要高^[46]。另外一些研究发现, 短链 PFAS 不是生物体内整体富集低, 而是选择性地富集在不同器官, 因此干扰了很多早期研究的数据^[47-48]。还有研究显示, PFAS 的生物富集性会随着性别、物种、年龄的变化而变化。因此, 简单认为短链的富集性一定低的说法显然有问题^[49-51]。

再则, 即便一些短链 PFAS 在人体停留时间短, 但是如果环境中充斥着 PFAS 成分, 可能出现摄入比代谢排出更多的情况^[50-53]。此外, 不同 PFAS 之间可能会产生协同毒性。这些风险还需得到充分研究。

最后, 短链 PFAS 的潜在危害不仅来源其本身, 还来自生产过程中产生的一定量副产物。这些副产物不仅包括短链 PFAS 的各种异构体、手性体, 甚至会生成长链 PFAS^[9], 成为隐性添加, 防不胜防。

4.2 食品包装材料的安全性不能只看迁移量

一些行业人士主张, 只要食品接触材料上的 PFAS 迁移量很低, 相关检测无检出, 那么就可以放心使用, 并搬出“不谈计量谈毒性是要流氓”的金句。看似有道理, 但仔细思考下来, 问题很多:

首先, 目前国内针对 PFAS 没有一个完备的检测方法, 仅用现有的总迁移以及某些特定 PFAS 的检测, 无法反映整体 PFAS 的释放量。PFAS 的种类数量巨

大,其释放又是一个动态过程^[43],而且还会伴随生成 PFAS 副产物,因此断定 PFAS 有没有迁移本身就缺乏依据。

其次,由于 PFAS 是一种具有生物累积性的化合物,其长期暴露的安全限量可能远低于我们通常检测方法的检出限。国外很多卫生部门出于安全考虑,都在不断调低对环境监测中 PFAS 的限量。欧盟 5 国禁氟提案中的细则要求,对单一目标 PFAS 限量为 25×10^{-9} ^[33]。美国环境保护署 (Environmental Protection Agency, EPA) 则是综合考虑 4 种短链 PFAS 的协同毒性,设定了一种饮用水中危害性指标的计算方式,限量在 10^{-9} 级^[54-55]。

最后,即便食品接触材料没有迁移,不会对人体造成直接危害,但其从生产到消费的各个环节都有可能进入环境中,如食品包装废弃物被随意丢弃,或通过填埋、焚烧的方式进行处理。这些产品上的 PFAS 成分仍然会随着产品主体的解体,被释放到环境中,进而进入饮水和食物链,对人类健康造成间接危害^[56]。

4.3 含氟食品包装对环境的污染难以控制

由于 PFAS 应用的行业非常广泛,很多国家是将包括食品包装在内的所有行业打包一起讨论其去留问题。这就导致,只要有一个行业反对,就无法推出相关禁用政策。

对此,学术圈提出了批评。例如:2019 年 11 月 20 日,美国化学会旗下杂志《化学与工程新闻》(Chemical & Engineering News, C & EN) 在网站上发表了由 C. Hogue 撰写的文章“如何摆脱 PFAS”(How to Say Good-Bye to PFAS)。C. Hogue 代表了很多行业专家提出:反对“一刀切”地在所有应用领域禁用 PFAS,而应当根据具体物质的必要性和可替代性进行区分对待。反对无限制的生产和应用 PFAS,应当积极寻求替代品^[57]。我国学者邢航等^[58]则认为 C. Hogue 的去氟进度依然太过激进,发展中国家如中国如果直接跟进,可能伤害到本国的相关产业。应当根据各国自身的产业升级进度,去考虑禁氟的日程。鼓励高技术企业继续使用 PFAS 产品,同时通过产业整合和升级去推动低端 PFAS 企业的转型。

对此,笔者的观点是,大家应把关注点放到“管控污染”这个本源初心上,从管控污染的难易程度来决定 PFAS 的去留。比如,很多文章都提到了 PFAS 产品在核工业、化工、芯片制造等行业具有无法替代

的地位^[59-61]。而这些应用都是工业化应用,使用场景被限制在某一厂区或某一车间。如果能够对工厂进行良好的封闭隔离,避免 PFAS 向周围环境释放,同时工厂内部人员做好防护(或者完全无人操作)。那么,PFAS 就可以继续使用,甚至于一些高毒性的长链 PFAS 也可以投入使用。通过建立工厂危化品的管控,结合政府和第三方的监督,来实现 PFAS 无害化生产使用。另一方面,某些场景 PFAS 释放到环境中的途径难以切断,比如食品包装,直接面向大众且目前回收处理尚不完备,不停用就意味着主动向环境释放 PFAS。因此,在食品包装领域需要禁用 PFAS。

4.4 允许部分 PFAS 在食品接触材料中使用提高了监管难度

虽然我国对食品接触材料执行的是肯定列表制度,即只有获得行政部门批准的化学成分,才能合法添加使用^[3]。但目前用于监督市场上相关产品 PFAS 含量的手段和方法并不完备。我国食品包装中 PFAS 类化合物的检测方法,仅有 2016 年发布的 GB 31604.35—2016《食品接触材料及制品 全氟辛酸磺酸(PFOS)和全氟辛酸(PFOA)的测定》。显然,无论是在消费端对成品进行抽检,还是在生产端定期或突击检查半成品和原料,都会因为方法的缺失而提高了监控 PFAS 滥用的难度。加之,针对每种出现的 PFAS 都研发一种检测方法是难以实现的。因此,在食品包装中完全禁氟,设定一个有机氟或者总氟的限量,便是一个更加高效的监管方式。

4.5 研发和推广无氟防油技术是我国全球化进程中躲不开的议题

欧美等发达国家在食品接触材料中完全禁氟目前看来只是时间问题。丹麦在 2020 年成为首个宣布全面禁止 PFAS 的国家^[35]。2023 年 2 月 7 日,德国、荷兰、瑞典、挪威、丹麦 5 国通过 ECHA 向欧盟委员会提交了,全面限制超过 10 000 种 PFAS 物质在欧盟地区使用的提案^[34]。风险评估委员会(Committee for Risk Assessment)与社会经济评估委员会(Committee for Socio-Economic Analysis)于 2023 年 9 月 12 日完成了磋商,向 ECHA 提出最终意见,并通过其提交欧盟委员会。美国食品药品监督管理局(Food and Drug Administration, FDA)于 2024 年 2 月 28 日在官网宣布,结束长达三年的自愿禁氟期,在全美禁用含 PFAS 食品包装防油剂^[62]。有一些大

公司也公开宣布完全停产含氟有机化合物计划^[63]。

我国作为相关食品包装的主要出口国,产品符合目的国的无氟政策和标准自不必说,国内市场也要考虑要与国外接轨的问题。即便不能立刻禁用含氟产品,同步开始制定自己的无氟标准、研发无氟产品以及加快市场推广也势在必行。

4.6 研发和推广无氟防油技术可能是我国打破西方垄断的一次契机

西方国家由于经济发展程度和饮食结构的原因,从20世纪二三十年代便开始研发食品接触用防油包装材料。而我国直到20世纪80年代末,随着洋快餐的引入,才认识到专业防油植物纤维食品包装的重要性^[5, 64]。此时,国外有机氟化工巨头已经有几十年的研发投入,产品迭代多次,拥有了大量专利技术。因此,从含氟防油产品在我国投入使用至今,国外企业都占据了技术优势和主要市场份额,国产产品很难与其竞争。时至今日,国内主要的植物纤维食品包装生产和使用企业在选择含氟防油剂时,形成了对国外技术和品牌的信任惯性,还是以国外大品牌的产品为主要采购对象。我国需要打破这一僵局,不能将这块丰厚的利润拱手让人。

另一方面,很多国外氟化工企业也在积极开发无氟防油的产品以对冲未来禁氟政策完全落地的风险。一些企业已经推出无氟防油解决方案,但总体水平与行业期待还有差距^[7]。以纸浆模塑餐具为例,GB/T 36787—2018《纸浆模塑餐具》中对“耐热油”的要求是“注满(95±5)℃食用油,静止30 min后无渗油”,然而目前国内外鲜有无氟防油产品可以达到此要求。无氟产品要完全替代含氟产品还有一段路要走。这给我国企业提供了一次换道超车的机会,能够在无氟防油技术上打破国外垄断。

5 结语

含氟防油剂因为性能优异、成本低廉,至今仍在植物纤维食品包装中扮演重要角色。然而其安全性和环境友好性受到质疑,欧美等发达国家已制定相关禁用政策,拥抱无氟产品。我国在过去的食品包装防油技术开发中,一直落后于西方发达国家,致使相关产品市场长期被这些国家的企业占有。当前,各国都在从有氟向无氟产品切换的过程中,相关技术尚未成熟,这正给了中国企业一次换道超车的机会。相信中国企业,在全产业链的成本优势和庞大市场的

孕育下,有望孵化出拥有自主知识产权的食品防油技术,打造世界知名品牌。无氟防油植物纤维食品包装产业未来前景广阔,有必要加快我国相关产品的研发和推广工作。

参考文献:

- [1] 张美云, 聂景怡, 刘馨茗, 等. 高分子科学视角下“以纸代塑”面临的挑战及应对策略[J]. 中国造纸, 2023, 42(7): 102-117.
ZHANG Meiyun, NIE Jingyi, LIU Xinming, et al. Challenges and Countermeasures of Replacing Plastic with Paper: From the Perspective of Polymer Science[J]. China Paper, 2023, 42(7): 102-117.
- [2] 张海艳. 食品纸浆模塑包装的无氟防油技术研究[D]. 天津: 天津科技大学, 2022: 1-10.
ZHANG Haiyan. Study on Fluorine-Free and Oil-Proof Technology of Food Pulp Moulding Packaging[D]. Tianjin: Tianjin University of Science and Technology, 2022: 1-10.
- [3] 国家卫生和计划生育委员会. 食品接触材料及制品用添加剂使用标准: GB 9685—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017: 2.
National Health and Family Planning Commission. Standard for Use of Additives in Food Contact Materials and Products: GB 9685—2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017: 2.
- [4] 马恒臣. 浅谈纸餐盒防油、防水剂的选择与使用[J]. 中国包装工业, 1999, 65(11): 22-23.
MA Hengchen. Selection and Use of Oil-Proof and Waterproof Agent for Paper Lunch Box[J]. China Packaging Industry, 1999, 65(11): 22-23.
- [5] 赵丽君, 夏桂玲, 周立春, 等. 环保食品防油纸的特性及研究进展[J]. 中国造纸学报, 2022, 37(增刊1): 107-112.
ZHAO Lijun, XIA Guiling, ZHOU Lichun, et al. Characteristics and Research Progress of Environmentally Friendly Food Greaseproof Paper[J]. Transactions of China Pulp and Paper, 2022, 37(S1): 107-112.
- [6] 王海松, 赵亚丽, 杜健, 等. 生物质基可降解果蔬保鲜包装材料的制备及应用[J]. 包装学报, 2023, 15(1): 1-11.
WANG Haisong, ZHAO Yali, DU Jian, et al. Preparation and Application of Biomass-Based Biodegradable Fruit and Vegetable Preservation Packaging Materials[J]. Packaging Journal, 2023, 15(1): 1-11.

- [7] 徐冰冰, 杨国超, 张求慧. 纸质食品包装材料防水防油改性的研究进展 [J]. 包装工程, 2021, 42(3): 107-115.
XU Bingbing, YANG Guochao, ZHANG Quhui. Research Progress of Water-Proof and Oil-Proof Modification of Paper Food Packaging Materials[J]. Packaging Engineering, 2021, 42(3): 107-115.
- [8] STRAKOVÁ J, SCHNEIDER J, CINGOTTI N, et al. Throwaway Packaging, Forever Chemicals: European-Wide Survey of PFAS in Disposable Food Packaging and Tableware[EB]. 2021: 1-54.
- [9] 张宏娜, 温 蓓, 张淑贞. 全氟和多氟烷基化合物异构体的分析方法、环境行为和生物效应研究进展 [J]. 环境化学, 2019, 38(1): 42-50.
ZHANG Hongna, WEN Bei, ZHANG Shuzhen. Analytical Methods, Environmental Behaviors and Biological Effects of Per-and Polyfluoroalkyl Isomers[J]. Environmental Chemistry, 2019, 38(1): 42-50.
- [10] HURD S N, ZOLLERS F E. Council Directive on the Approximation of the Laws, Regulations and Administrative Provisions of the Member States Concerning Liability for Defective Products[J]. American Society of International Law, 1993, 32(5): 1347-1356.
- [11] 生态环境部, 工业和信息化部, 农业农村部, 等. 重点管控新污染物清单 [S]. 北京: 生态环境部, 2023: 1.
Ministry of Ecology and Environment, Ministry of Industry and Information Technology, Ministry of Agriculture and Rural Development, et al. List of New Pollutants for Priority Control[S]. Beijing: Ministry of Ecology and Environment, 2023: 1.
- [12] The Ad Hoc Working Group on Alpha and Beta Hexachlorocyclohexane. Draft Risk Management Evaluation for Alpha Hexachlorocyclohexane[S]. US: [s. n.], 2008: 1-3.
- [13] 蔡继权. 创新含氟表面活性剂迫在眉睫 [J]. 杭州化工, 2007, 37(4): 4-10.
CAI Jiquan. It Is Urgent to Innovate Fluorine-Containing Surfactants[J]. Hangzhou Chemical Industry, 2007, 37(4): 4-10.
- [14] 盛际虞, 张廉明. 打浆对防油纸抗油脂性能的关系 [J]. 天津轻工业学院学报, 1986, 1(1): 83-91.
SHENG Jiyu, ZHANG Lianming. Relationship Between Beating and Grease Resistance of Oil-Proof Paper[J]. Journal of Tianjin Institute of Light Industry, 1986, 1(1): 83-91.
- [15] 王士葆. 防油纸用施胶剂 [J]. 天津造纸, 1990, 12(增刊2): 41-46.
WANG Shibao. Sizing Agent for Oil-Proof Paper[J]. Tianjin Paper Making, 1990, 12(S2): 41-46.
- [16] 王士葆. 防油纸的制造技术 [J]. 天津造纸, 1998, 20(2): 2-10.
WANG Shibao. Manufacturing Technology of Oil-Proof Paper[J]. Tianjin Paper Making, 1998, 20(2): 2-10.
- [17] 张庆华, 詹晓力, 陈丰秋. 有机氟防水防油剂的合成以及在造纸工业中的应用 [J]. 上海造纸, 2004, 35(2): 38-43.
ZHANG Qinghua, ZHAN Xiaoli, CHEN Fengqiu. Studies on Synthesis of Fluoro-Containing Water-Resistant and Oil-Resistant Agents and Application of It in Paper-Making[J]. Shanghai Paper Making, 2004, 35(2): 38-43.
- [18] 张 杨, 齐云洵, 丁雪峰, 等. 防油纸的生产 [J]. 纸和造纸, 2015, 34(1): 1-2.
ZHANG Yang, QI Yunhuan, DING Xuefeng, et al. Production Practice of Oil-Proof Paper[J]. Paper and Paper Making, 2015, 34(1): 1-2.
- [19] 刘东阳. 微晶蜡乳液研制及对纸张防油防水性能研究 [D]. 南京: 南京林业大学, 2022.
LIU Dongyang. Preparation of Microcrystalline Wax Emulsion and Its Research on Oil and Water Resistance of Paper[D]. Nanjing: Nanjing Forestry University, 2022.
- [20] 曹云峰, 谈继淮, 朱清浩, 等. 可再浆无氟无塑壳聚糖栲胶基水性纸张防油剂及其制备方法和应用: CN114957739A[P]. 2022-08-30.
CAO Yunfeng, TAN Jihuai, ZHU Qinghao, et al. Repulpable Fluoride-Free Plastic-Free Chitosan Tannin Extract-Based Water-Based Paper Oil-Proofing Agent as Well as Preparation Method and Application Thereof: CN114957739A[P]. 2022-08-30.
- [21] 徐 艳, 杨博文, 杨维红, 等. TEMPO 氧化纳米纤维素 / 壳聚糖涂布制备防油纸及其性能研究 [J]. 中国造纸, 2022, 41(11): 54-61.
XU Yan, YANG Bowen, YANG Weihong, et al. Preparation and Properties of Oil-Proof Paper by Coating TEMPO-Oxidized Cellulose Nanofibril/Chitosan[J]. China Pulp & Paper, 2022, 41(11): 54-61.
- [22] 张祥斌. 纳米无机颗粒 / 有机防水防油剂构建超疏水疏油表面 [D]. 青岛: 青岛科技大学, 2023.
ZHANG Xiangbin. Construction of Super-Hydrophobic and Oil-Repellent Surface by Nano-Inorganic Particles/Organic Waterproof and Oil-Repellent Agent[D]. Qingdao: Qingdao University of Science & Technology, 2023.
- [23] 姜尚杰. 功能型超疏水纸张的制备与性能研究 [D]. 西安: 西安理工大学, 2021.

- Jiang Shangjie. Study on Preparation and Performance of Functional Superhydrophobic Paper[D]. Xi'an: Xi'an University of Technology, 2021.
- [24] 赵丽君, 黄建荣, 周立春, 等. 食品防油纸的制备及其性能研究[J]. 中华纸业, 2022, 43(4): 19-23.
ZHAO Lijun, HUANG Jianrong, ZHOU Lichun, et al. A Research on Preparation and Properties of Food Oil-Proof Paper[J]. China Pulp & Paper Industry, 2022, 43(4): 19-23.
- [25] 涂伟文. 纺织品防水防油剂的历史、现状和发展方向[J]. 印染, 2022, 48(5): 82-89, 93.
TU Weiwen. History, Current Situation and Future of Water- and Oil-Repellents for Textiles[J]. China Dyeing & Finishing, 2022, 48(5): 82-89, 93.
- [26] 贾旭宏. 水成膜泡沫灭火剂的研究进展[J]. 广州化工, 2015, 43(24): 22-24.
JIA Xuhong. Research Progress of Aqueous Film-Forming Foam Extinguishing Agent[J]. Guangzhou Chemical Industry, 2015, 43(24): 22-24.
- [27] [佚名]. 麦当劳包装被爆检出致癌物质! 公司回应: 在中国使用的材料符合标准![EB/OL]. [2023-02-16]. <https://new.qq.com/rain/a/20200810A0POYB00>.
[Anon]. McDonald's Packaging Has Been Found to Be Carcinogenic! Company Response: The Material Used in China Meets the Standard![EB/OL]. [2023-02-16]. <https://new.qq.com/rain/a/20200810A0POYB00>.
- [28] 刘田田, 常子杰, 沈逸伦. 环保包装: 替塑空间广阔, 关注纸浆模塑与可降解塑料制品龙头[R]. 北京: 东兴证券, 2023: 1.
LIU Tiantian, CHANG Zijie, SHEN Yilun. Environmentally Friendly Packaging: Wide Space for Plastic Replacement, Focusing on Pulp Molding and Degradable Plastic Products[R]. Beijing: Dongxing Securities Corporation Limited, 2023: 1.
- [29] YAO Y M, SUN H W, GAN Z W, et al. Nationwide Distribution of Per- and Polyfluoroalkyl Substances in Outdoor Dust in Mainland China from Eastern to Western Areas[J]. Environmental Science & Technology, 2016, 50(7): 3676-3685.
- [30] 李梦丹. 上海市大气中全氟化合物迁移和转化的数值模拟研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2016.
LI Mengdan. Numerical Simulation on Migration and Transformation of Perfluorinated Compounds in Shanghai[D]. Shanghai: Shanghai Jiao Tong University, 2016.
- [31] 何鹏飞, 张鸿, 李静, 等. 深圳市大气中全氟化合物的残留特征[J]. 环境科学, 2016, 37(4): 1240-1247.
HE Pengfei, ZHANG Hong, LI Jing, et al. Residue Characteristics of Perfluorinated Compounds in the Atmosphere of Shenzhen[J]. Environmental Science, 2016, 37(4): 1240-1247.
- [32] MA D H, ZHONG H F, LÜ J T, et al. Levels, Distributions, and Sources of Legacy and Novel Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS) in the Topsoil of Tianjin, China[J]. Journal of Environmental Sciences (China), 2022, 112: 71-81.
- [33] California. California Assembly Bill No. 652[S/OL]. [2023-02-22]. <https://legiscan.com/CA/text/AB652/id/2435914>.
- [34] ECHA. ECHA Receives PFASs Restriction Proposal from Five National Authorities[EB/OL]. [2023-03-05]. <https://echa.europa.eu/-/echa-receives-pfass-restriction-proposal-from-five-national-authorities#:~:text=The%20national%20authorities%20of%20Denmark%2C%20Germany%2C%20the%20Netherlands%2C,in%20the%20EU%E2%80%99s%20history%2C%20on%207%20February%202023>.
- [35] SGS. NEA Newsletter[EB/OL]. [2023-02-22]. <https://eecloud.sgs.com/Article.aspx?n=196>.
- [36] ECHA. Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS) [EB/OL]. [2023-12-20]. <https://echa.europa.eu/hot-topics/perfluoroalkyl-chemicals-pfas>.
- [37] OECD. PFASs and Alternatives in Food Packaging (Paper and Paperboard) Report on the Commercial Availability and Current Uses[R]. OECD: Paris, 2020: 1-20.
- [38] 王健, 杨瑞丰, 刘彦军. 含氟丙烯酸酯防油剂的制备及在纸张表面施胶中的应用[J]. 中国造纸学报, 2008, 23(4): 100-103.
WANG Jian, YANG Ruifeng, LIU Yanjun. Preparation of the Fluoroacrylate Copolymer as the Oil-Proof Agent for Paper Surface Sizing[J]. Transactions of China Pulp and Paper, 2008, 23(4): 100-103.
- [39] 葛建楼. 纸张用含氟助剂的制备[D]. 大连: 大连理工大学, 2015.
GE Jianlou. Preparation of Fluorine Containing Oil-Proof Agent for Paper[D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2015.
- [40] BUCK R C, FRANKLIN J, BERGER U, et al. Perfluoroalkyl and Polyfluoroalkyl Substances in the Environment: Terminology, Classification, and Origins[J]. Integrated Environmental Assessment and Management, 2011, 7(4): 513-541.
- [41] 周秀鹃, 盛南, 王建设, 等. 全氟和多氟化合物替代品的研究进展[J]. 生态毒理学报, 2017, 12(3): 3-12.
ZHOU Xiujuan, SHENG Nan, WANG Jianshe,

- et al. The Current Research Status of Several Kinds of Fluorinated Alternatives[J]. *Asian Journal of Ecotoxicology*, 2017, 12(3): 3–12.
- [42] GOMIS M I, WANG Z Y, SCHERINGER M, et al. A Modeling Assessment of the Physicochemical Properties and Environmental Fate of Emerging and Novel Per- and Polyfluoroalkyl Substances[J]. *Science of the Total Environment*, 2015, 505: 981–991.
- [43] MUDUMBI J B N, NTWAMPE S K O, MATSHA T, et al. Recent Developments in Polyfluoroalkyl Compounds Research: A Focus on Human/Environmental Health Impact, Suggested Substitutes and Removal Strategies[J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2017, 189(8): 402.
- [44] SOLAN M E, KOPERSKI C P, SENTHILKUMAR S, et al. Short-Chain Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS) Effects on Oxidative Stress Biomarkers in Human Liver, Kidney, Muscle, and Microglia Cell Lines[J]. *Environmental Research*, 2023, 223: 115424.
- [45] HEINTZ M M, CHAPPELL G A, THOMPSON C M, et al. Evaluation of Transcriptomic Responses in Livers of Mice Exposed to the Short-Chain PFAS Compound HFPO-DA[J]. *Frontiers in Toxicology*, 2022, 4: 937168.
- [46] OLSEN G W, BURRIS J M, EHRESMAN D J, et al. Half-Life of Serum Elimination of Perfluorooctanesulfonate, Perfluorohexanesulfonate, and Perfluorooctanoate in Retired Fluorochemical Production Workers[J]. *Environmental Health Perspectives*, 2007, 115(9): 1298–1305.
- [47] PÉREZ F, NADAL M, NAVARRO-ORTEGA A, et al. Accumulation of Perfluoroalkyl Substances in Human Tissues[J]. *Environment International*, 2013, 59: 354–362.
- [48] SOLAN M E, KOPERSKI C P, SENTHILKUMAR S, et al. Short-Chain Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS) Effects on Oxidative Stress Biomarkers in Human Liver, Kidney, Muscle, and Microglia Cell Lines[J]. *Environmental Research*, 2023, 223: 115424.
- [49] KLAUNIG J E, SHINOHARA M, IWAI H, et al. Evaluation of the Chronic Toxicity and Carcinogenicity of Perfluorohexanoic Acid (PFHxA) in Sprague-Dawley Rats[J]. *Toxicologic Pathology*, 2015, 43(2): 209–220.
- [50] 张泽方. 血清全氟化合物与高血压发生风险及血压水平变化的关联研究 [D]. 武汉: 华中科技大学, 2022.
ZHANG Zefang. A Dissertation Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Master Degree in Medicine[D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2022.
- [51] 张善宇, 姚 谦, 施 蓉, 等. 全氟与多氟烷基物质的生殖毒性研究进展 [J]. *环境与职业医学*, 2021, 38(10): 1161–1168.
ZHANG Shanyu, YAO Qian, SHI Rong, et al. Research Progress on Reproductive Toxicity of Per- and Polyfluoroalkyl Substances[J]. *Journal of Environmental and Occupational Medicine*, 2021, 38(10): 1161–1168.
- [52] WANG Z Y, COUSINS I T, SCHERINGER M, et al. Fluorinated Alternatives to Long-Chain Perfluoroalkyl Carboxylic Acids (PFCAs), Perfluoroalkane Sulfonic Acids (PFASs) and Their Potential Precursors[J]. *Environment International*, 2013, 60: 242–248.
- [53] FDA. Authorized Uses of PFAS in Food Contact Applications[EB/OL]. [2024-02-28]. <https://www.fda.gov/food/process-contaminants-food/authorized-uses-pfas-food-contact-applications#6507f024e01bf>.
- [54] 方 程, 张红平, 罗云龙. 全氟和多氟烷基化合物的分析检测 [J]. *分析科学学报*, 2021, 37(4): 451–458.
FANG Cheng, ZHANG Hongping, LUO Yunlong. Analysis and Detection of Perfluorinated and Polyfluoroalkyl Substances[J]. *Journal of Analytical Science*, 2021, 37(4): 451–458.
- [55] EPA. Proposed PFAS National Primary Drinking Water Regulation[S/OL]. [2023-05-12]. <https://www.epa.gov/sdwa/and-polyfluoroalkyl-substances-pfas>.
- [56] 齐 鹏, 苏日古嘎, 杜艳青, 等. 全氟化合物的污染现状和检测技术的研究进展 [J]. *化学世界*, 2021, 62(3): 137–143.
QI Peng, SURIGUGA, DU Yanqing, et al. Progress in Pollution Status and Determination Methods of Perfluorinated Compounds[J]. *Chemical World*, 2021, 62(3): 137–143.
- [57] GLENN J M, MORTON S. PFAS - EPA Interim Guidance on How to Say Goodbye to Your “Forever Chemicals” [N]. *The National Law Review*, 2021-01-11 (01-02).
- [58] 邢 航, 窦增培, 肖子冰, 等. 我们该如何看待全氟或多氟烷基物质 (PFAS)? [J]. *日用化学工业*, 2020, 50(1): 49–53.
XING Hang, DOU Zengpei, XIAO Zibing, et al. Do we Need to Regard PFAS as Evil? Our Points of View[J]. *China Surfactant Detergent & Cosmetics*, 2020, 50(1): 49–53.
- [59] 商朋强, 焦 森, 屈云燕, 等. 世界萤石资源供需形势分析及对策建议 [J]. *国土资源情报*, 2020(10): 104–109.

- SHANG Pengqiang, JIAO Sen, QU Yunyan, et al. Analysis of Supply-Demand Situation of Fluorite Resources in the World and Countermeasures[J]. Land and Resources Information, 2020(10): 104-109.
- [60] 张威, 柳彤, 王云飞, 等. 高纯八氟环丁烷的制备及其在芯片制造中的应用[J]. 低温与特气, 2022, 40(3): 1-5.
- ZHANG Wei, LIU Tong, WANG Yunfei, et al. Preparation of High-Purity Octafluorocyclobutane and Its Application in Integrated Circuit Manufacturing[J]. Low Temperature and Specialty Gases, 2022, 40(3): 1-5.
- [61] 张呈平, 郭勤, 权恒道. 氯氟烃替代物的过去、现在和未来[J]. 精细化工, 2023, 40(5): 941-952.
- ZHANG Chengping, GUO Qin, QUAN Hengdao. Past, Present and Future of Chlorofluorocarbons Substitutes[J]. Fine Chemicals, 2023, 40(5): 941-952.
- [62] FDA. FDA Announces PFAS Used in Grease-Proofing Agents for Food Packaging No Longer Being Sold in the U.S.[EB/OL]. [2024-02-28]. <https://www.fda.gov/food/cfsan-constituent-updates/fda-announces-pfas-used-grease-proofing-agents-food-packaging-no-longer-being-sold-us>.
- [63] 3M. 3M to Exit PFAS Manufacturing by the End of 2025[EB/OL]. [2023-01-23]. <https://news.3m.com/2022-12-20-3M-to-Exit-PFAS-Manufacturing-by-the-End-of-2025>.
- [64] 韩志诚. 食品包装纸的推广和应用[J]. 湖南造纸, 2013, 42(2): 41-45.
- HAN Zhicheng. Application and Popularization of the Packing Papers for Food Stuff[J]. Hunan Papermaking, 2013, 42(2): 41-45.
- (责任编辑: 邓彬)

The Current Status and Urgency of Developing and Promoting PFAS-Free, Oil-Proof Plant Fiber Food Packaging in China

ZHANG Zhihao, CHENG Yanfei

(ECO R&D Institute, Shenzhen YUTO Packaging Technology Co., Ltd., Shenzhen Guangdong 518108, China)

Abstract: Plant fiber, as a natural high-polymer material, is frequently processed into various paper and paperboard products for disposable food packaging to replace traditional plastic materials. Due to its inadequacy in oil resistance, it is often treated with fluorinated organic compounds (PFAS) to improve oil resistance. Nevertheless, because of food safety risks and environmental protection reasons, some countries and regions outside China have enacted regulations to prohibit the use of PFAS in food packaging, and instead promote PFAS-free oil-proof food packaging. Currently, the development of PFAS-free oil-proof plant fiber food packaging in China is primarily focused on two technical pathways, and there are approximately a dozen companies capable of providing such solutions. However, the widespread adoption of PFAS-free products in China faces several challenges as lack of standardized testing method, performance deficiencies, relatively high costs and insufficient promotional efforts. The use of short-chain PFAS in food packaging as mass consumption also poses potential safety risks. The diverse pathways for PFAS releasing into the environment make it challenging to mitigate their impact. Furthermore, while permitting the use of certain PFAS components in food packaging materials increases regulatory complexity. Therefore, China should promote PFAS-free plant fiber food packaging as soon as possible. This abnegation of PFAS materials in food packaging industry presents an opportunity to foster cutting-edge food oil resistance technologies with independent Chinese intellectual property rights and establish globally recognized brands in the process.

Keywords: plant fiber; food packaging; PFAS-free; oil-proof