

4种黄曲霉毒素吸附剂对花生油综合品质的影响

姜德铭¹, 刘晓萌¹, 邹球龙¹, 印铁¹, 张晓琳¹, 张刚², 刘配莲²

(1. 中粮营养健康研究院有限公司, 北京 102209; 2. 费县中粮油脂工业有限公司, 山东 临沂 273499)

摘要:黄曲霉毒素污染是影响花生油食用安全性的重要因素之一,为了优化黄曲霉毒素的吸附工艺,分别从吸附剂添加量、吸附时间、吸附温度及黄曲霉毒素 B₁ (AFB₁) 污染水平等方面研究 4 种吸附剂(活性白土、膨润土、改性蒙脱土 A、改性蒙脱土 B)对花生原油中 AFB₁ 的吸附效果以及对花生油综合品质的影响。结果表明:添加量为 0.1%~1.0% 时,4 种吸附剂对 AFB₁ 的吸附率随添加量增加而提高,达到一定水平后,吸附率维持动态平衡;吸附时间为 20~60 min、吸附温度为 45~115℃ 时,4 种吸附剂对 AFB₁ 的吸附率均随着吸附时间的延长和吸附温度的升高而提高;花生原油中 AFB₁ 的污染水平对吸附率的影响不明显;花生原油经 4 种吸附剂处理后,污染物(总砷和铅)未检出,脂肪酸组成(油酸和亚油含量)无明显变化,酸值、过氧化值、维生素 E 含量、角鲨烯含量以及甾醇含量均变化不大;4 种吸附剂对花生油中的风味物质均有吸附,其中活性白土吸附程度最大,仅保留 30.6% 的风味物质,而改性蒙脱土 B 对风味物质吸附最少,能够保留 89.5% 的风味物质。综上,改性蒙脱土 B 不仅能够高效吸附 AFB₁,而且对花生油的综合品质影响很小,安全可靠,适宜在油脂行业推广应用。

关键词:黄曲霉毒素;活性白土;膨润土;改性蒙脱土;花生油;综合品质

中图分类号:TS225.1;TS201.6 文献标识码:A 文章编号:1003-7969(2023)04-0075-06

Effects of four aflatoxin adsorbents on the comprehensive quality of peanut oil

JIANG Deming¹, LIU Xiaomeng¹, ZOU Qiulong¹, YIN Tie¹,
ZHANG Xiaolin¹, ZHANG Gang², LIU Peilian²

(1. Nutrition & Health Research Institute, COFCO Corporation, Beijing 102209, China; 2. COFCO Oil and Grains Industry (Feixian) Co., Ltd., Linyi 273499, Shandong, China)

Abstract: Aflatoxin is one of the important factors affecting the safety of peanut oil. In order to optimize process of aflatoxin adsorption, the adsorption effect of four adsorbents (activated clay, bentonite, modified montmorillonite A and modified montmorillonite B) on aflatoxin B₁ (AFB₁) in crude peanut oil and the influence on the comprehensive quality of peanut oil were studied from the aspects of adsorbent addition amount, adsorption time, adsorption temperature and AFB₁ pollution level, respectively. The results showed that when the adsorbent addition amount was 0.1% - 1.0%, the adsorption rates of the four adsorbents for AFB₁ increased with the increase of the addition amount and then the adsorption rates maintained the dynamic balance. When the adsorption time ranged from 20 min to 60 min and the adsorption temperature ranged from 45℃ to 115℃, the adsorption rate of the four adsorbents promoted with the increasing of adsorption time and adsorption temperature. While the pollution level of AFB₁ in crude peanut oil had no obvious effect on the adsorption rate. The pollutants (total arsenic and lead)

were not detected, and fatty acid composition (oleic acid and linoleic acid content) had no significant change after the crude peanut oil treated with four adsorbents. Moreover, the acid value, peroxide value, vitamin E content, squalene content and sterol content showed little change. All of the four adsorbents adsorbed the

收稿日期:2021-12-07;修回日期:2022-11-11

基金项目:“十三五”国家重点研发计划项目(2017YFC1600600)

作者简介:姜德铭(1981),男,高级工程师,研究方向为真菌毒素检测及脱除(E-mail) jiangdeming@cofco.com。

通信作者:张晓琳,研究员,博士(E-mail) zhangxiaolin1@cofco.com。

flavor substances in the oil, among which the activated clay adsorbed the most and retained only 30.6% of the flavor substances, while the modified montmorillonite B adsorbed the least and retained 89.5% of the flavor substances. In conclusion, the modified montmorillonite B can not only adsorb AFB₁ efficiently, but also has little impact on the comprehensive quality of peanut oil, which is safe and reliable, so it is suitable for popularization and application in oil industry.

Key words: aflatoxin; activated clay; bentonite; modified montmorillonite; peanut oil; comprehensive quality

食用油脂是国人餐桌的重要组成部分,与人体健康关系密切,因此油脂加工的品质与安全性受到广泛关注。花生油是常见的食用油之一,色泽清亮、气味芬芳、滋味可口,易于人体消化吸收^[1],同时还含有甾醇、维生素 E、角鲨烯等对人体有益的物质。但花生油的原料——花生易受到黄曲霉毒素的污染,而黄曲霉毒素能溶于油脂,从而可迁移到花生原油中。黄曲霉毒素 B₁ (AFB₁) 是已知致癌性最强的化学物质之一,具有强烈的细胞毒性,其毒性作用主要表现为对肝脏的损害,而且引起的病变具有遗传特性。长期低剂量摄入 AFB₁ 将极大增加患肝癌的概率^[2]。黄曲霉毒素污染是影响花生油食用安全性的重要因素之一。依据 GB 2761—2017,我国对花生油中 AFB₁ 的限量值为 20 μg/kg。目前花生油生产过程中对原油中的黄曲霉毒素进行处理的常用方法是利用加工助剂进行吸附脱除。

吸附剂在油脂加工的脱色环节使用,吸附脱色法在油脂工业生产中应用最广泛^[3]。吸附脱色的主要作用是脱除油脂中的色素,同时还可以去除油脂中的微量金属、微量皂粒、磷脂等胶体物质。但随着产业的发展,原先的脱色环节已不再完全是为了脱色,而是在脱色的同时更多地兼顾脱除多环芳烃及黄曲霉毒素等风险成分。刘玉兰^[4-6]、张小涛^[7]、赵欢欢^[8]等研究表明,利用吸附剂的吸附作用可以降低油脂中多环芳烃的含量。杨威等^[9]研究表明,利用 YS-900 型活性炭作为吸附剂可以脱除花生油中一定比例的 3-氯丙醇酯。中国粮油学会团体标准 T/CCOA 3—2019《花生油质量安全生产技术规范》中明确要求“花生油吸附脱色工艺条件的选择,应兼顾脱色和脱除多环芳烃及黄曲霉毒素等风险成分”。吸附剂的使用比较方便,油脂企业可以根据生产需要选用合适的吸附剂即可,一般不需要改造设备。但吸附剂在吸附目标物质的同时也会对油脂中的其他组分产生一定的吸附作用,使得油脂的风味和有益组分含量有所损失,因而使用之前需要进行必要的工艺优化和油脂综合品质影响评估。

目前在油脂加工中使用的吸附剂主要有凹凸棒

黏土(用于脱色)、膨润土(用于吸附、助滤、澄清、脱色)、活性白土(用于澄清、脱色、吸附)^[10]。活性白土是由膨润土生产得到的,膨润土的主要矿物成分为蒙脱石,是天然的层状铝硅酸盐物质,矿物内部可形成大量的空洞和很大的内表面积,在自然状态下,膨润土的内部空洞处于堵塞状态,经过酸处理加工可以活化,这种经加工处理后的膨润土称为活性白土。对膨润土提纯后得到的蒙脱石含量更高的膨润土称为蒙脱土。严格来说,蒙脱土也是膨润土。蒙脱土经过改性^[11]可使其性能更优越,改性后的蒙脱土具有较大的层间距,较好的热稳定性和可调变的酸性,可作为新型催化材料和吸附材料。目前蒙脱土无机改性剂主要有酸和无机盐两类,有机改性剂研究较多的是季铵盐类物质^[12-14]。经过预试验发现,市售的 1 种活性白土、1 种膨润土和实验室改性的 2 种蒙脱土具有较高的吸附黄曲霉毒素的能力。本文评估了这 4 种吸附剂对花生原油中 AFB₁ 的吸附效果以及对花生油综合品质的影响,以为油脂企业生产时吸附剂的选用提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 原料与试剂

花生原油(2 批次),费县中粮油脂工业有限公司提供。活性白土、膨润土、蒙脱土,均从客户处收集;改性蒙脱土 A(有机改性)、改性蒙脱土 B(无机改性),实验室自制。

AFB₁ 固体标准品(50 mg),青岛普瑞邦生物工程有限公司;AFB₁ 液体标准品、黄曲霉毒素免疫亲和柱,美国 Romer Labs 公司;乙腈、甲醇,色谱纯,上海安谱公司;微孔过滤膜(13 mm,0.22 μm,聚四氟乙烯),北京迪科马科技有限公司。

1.1.2 仪器与设备

高效液相色谱仪(配荧光检测器),日本岛津公司;光化学衍生器,美国 Romer Labs 公司;7890B 气相色谱仪(配 FID 检测器)、8890-5977B 气相色谱-质谱联用仪,美国 Agilent 公司;HS7 加热磁力搅拌器,德国 IKA 集团;超声波清洗器,昆山超声仪器厂;

5810R 离心机,德国 Eppendorf 公司;固相萃取装置,北京振翔科技有限公司。

1.2 试验方法

1.2.1 AFB₁污染花生原油的制备

由于采集的花生原油样品中 AFB₁ 含量极低,为了便于后续测定,人工制备 AFB₁ 污染的花生原油。将 AFB₁ 固体标准品溶于适量花生原油中,混合均匀,于室温保存 2 个月以上。后期评估时,以未添加 AFB₁ 的原油稀释此油,配制不同污染水平的花生原油,混匀后供试验用。

1.2.2 吸附剂对污染花生原油中 AFB₁ 的吸附脱除

将 4 种吸附剂分别按照一定的比例(以油质量为基准)添加到不同污染水平的花生原油中,在一定温度下以 350 r/min 的转速搅拌吸附一定时间,过滤后即即为脱 AFB₁ 油。

1.2.3 AFB₁ 的测定及 AFB₁ 吸附率的计算

参照 GB 5009. 22—2016 第三法高效液相色谱-柱后衍生法(光化学衍生)测定 AFB₁。

吸附剂对 AFB₁ 的吸附率(Y)按照公式(1)计算。

$$Y = (C_0 - C) / C_0 \times 100\% \quad (1)$$

式中: C_0 为吸附前油脂中 AFB₁ 的初始污染水平,μg/kg; C 为吸附后油脂中 AFB₁ 的污染水平,μg/kg。

1.2.4 质量指标的测定

参考 GB/T 1534—2017 评估了吸附前后酸值和过氧化值变化情况,酸值按照 GB 5009. 229—2016 第二法测定,过氧化值按照 GB 5009. 227—2016 第一法测定。

1.2.5 污染物的测定

污染物残留主要考察了总砷和铅两项指标,总砷(以 As 计)参照 GB 5009. 11—2014 第一篇第一法测定,铅(以 Pb 计)参照 GB 5009. 12—2017 第二法测定。

1.2.6 有益脂质伴随物的测定

参照 GB 5009. 82—2016 第二法测定维生素 E 含量,参照 LS/T 6120—2017 测定角鲨烯含量,参照 GB/T 25223—2010 测定甾醇含量。

1.2.7 脂肪酸组成的测定

参照 GB 5009. 168—2016 第三法测定脂肪酸组成。

1.2.8 风味物质的测定

采用固相微萃取(SPME)结合气相色谱-质谱联用法(GC-MS)对花生油的风味物质进行定性及半定量分析。半定量分析:以 2-辛醇为内标,按照

公式(2)计算花生油中的挥发性物质含量。

$$C_j = C_s A_j / A_s \quad (2)$$

式中: C_j 是挥发性化合物的含量,mg/kg; C_s 是内标物的质量浓度,mg/mL; A_j 是挥发性化合物的峰面积; A_s 是内标物的峰面积。

2 结果与分析

2.1 吸附条件对吸附剂 AFB₁ 吸附率的影响

2.1.1 吸附时间的影响

将 4 种吸附剂分别按照一定比例(活性白土 0.3%,膨润土 0.5%,改性蒙脱土 A 和改性蒙脱土 B 均为 0.2%)添加到阳性花生原油(AFB₁ 含量 500 μg/kg)中,在 105 °C 下吸附 20~60 min,考察 4 种吸附剂在不同吸附时间下对 AFB₁ 的吸附率,结果如图 1 所示。

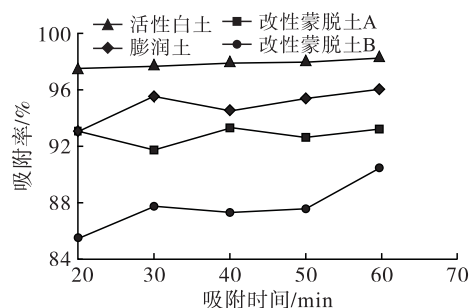


图 1 不同吸附时间下 4 种吸附剂对 AFB₁ 的吸附率

由图 1 可知,在吸附时间 20~60 min 范围内,4 种吸附剂对 AFB₁ 的吸附率基本均随着吸附时间的延长而提高,吸附剂与吸附质需要一定的接触时间才能达到吸附平衡。

2.1.2 吸附温度的影响

将 4 种吸附剂分别按照一定的比例(活性白土 0.3%,膨润土 0.3%,改性蒙脱土 A 和改性蒙脱土 B 均为 0.2%)添加到阳性花生原油(AFB₁ 含量 500 μg/kg)中,在 45~115 °C 下吸附 60 min,考察 4 种吸附剂在不同吸附温度下对 AFB₁ 的吸附率,结果如图 2 所示。

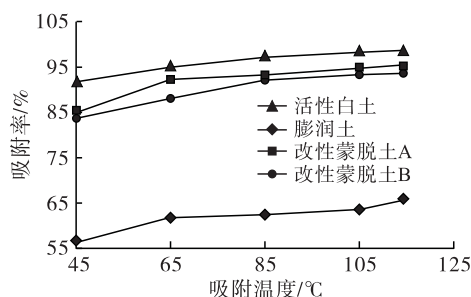


图 2 不同吸附温度下 4 种吸附剂对 AFB₁ 的吸附率

由图 2 可知,在吸附温度 45~115 °C 范围内,4 种吸附剂对 AFB₁ 的吸附率均随着吸附温度的升高

而提高,这是由于升高温度会加快油中 AFB₁ 的运动速度,从而提高吸附剂的吸附能力。

2.1.3 吸附剂添加量的影响

将 4 种吸附剂分别按照 0.1% ~ 1.0% 比例添加到阳性花生原油 (AFB₁ 含量 500 μg/kg) 中,在 105 °C 下吸附 60 min,考察 4 种吸附剂在不同添加量下对 AFB₁ 的吸附率,结果如图 3 所示。

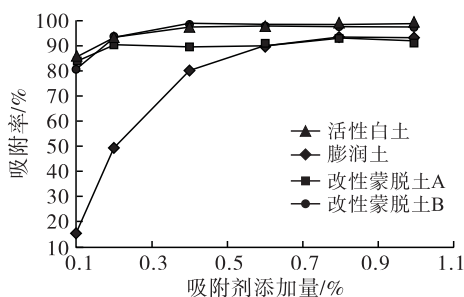


图 3 不同添加量下 4 种吸附剂对 AFB₁ 的吸附率

由图 3 可知,在吸附剂添加量 0.1% ~ 1.0% 范围内,4 种吸附剂对 AFB₁ 的吸附率均先随着吸附剂添加量增加而提高,在吸附剂添加量达到一定水平后,吸附率基本维持平稳状态。这是由于前期随着吸附剂添加量的增加,增加了 AFB₁ 与吸附剂的接触概率,吸附率提高;当吸附剂量增加至一定程度,吸附与解吸附达到动态平衡,吸附率趋于稳定。

2.2 AFB₁ 污染水平对吸附剂 AFB₁ 吸附率的影响

将 4 种吸附剂按照一定比例 (活性白土 0.3%, 膨润土 0.3%, 改性蒙脱土 A 和改性蒙脱土 B 均为 0.2%) 添加到不同 AFB₁ 污染水平的花生原油中,在 105 °C 吸附 60 min,考察 4 种吸附剂在不同 AFB₁ 污染水平的花生原油中的 AFB₁ 吸附率,结果如图 4 所示。

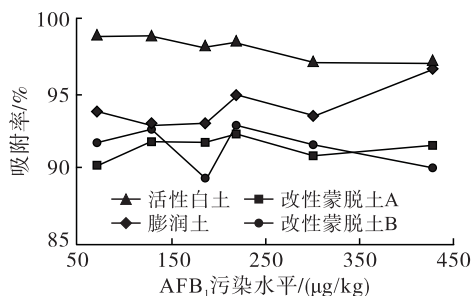


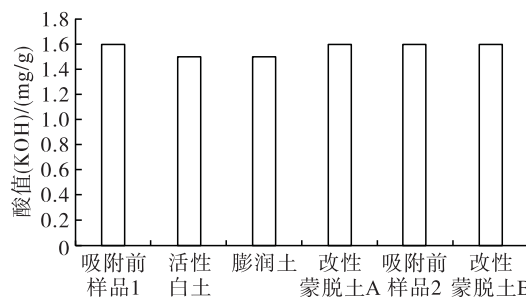
图 4 不同 AFB₁ 污染水平下 4 种吸附剂对 AFB₁ 的吸附率

由图 4 可知,花生原油中 AFB₁ 污染水平对吸附剂 AFB₁ 吸附率的影响不明显。这可能是由于相对于 AFB₁ 污染水平,4 种吸附剂添加量过量,均未达到吸附饱和状态,虽然 AFB₁ 的初始值提高了,但 AFB₁ 吸附量也提高了,因此吸附率变化不明显。

2.3 4 种吸附剂对花生油综合品质的影响

2.3.1 质量指标的变化

对吸附剂吸附前后花生原油的酸值、过氧化值进行测定,结果分别如图 5、图 6 所示。



注:活性白土、膨润土、改性蒙脱土 A 均以第一批花生原油为原料,改性蒙脱土 B 以第二批花生原油为原料。下同

图 5 吸附剂吸附前后花生原油酸值的变化

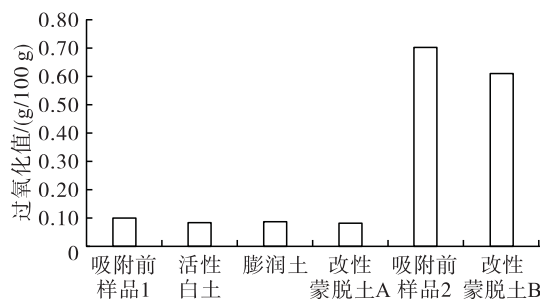


图 6 吸附剂吸附前后花生原油过氧化值的变化

由图 5、图 6 可知,吸附剂处理后,酸值和过氧化值基本保持不变或略有下降。可见,吸附剂并未改变花生原油的基本理化性质。

2.3.2 污染物的变化

薛雅琳等^[15]研究发现,食用油脂精炼过程中加工助剂对油脂产品中重金属含量产生影响,吸附剂带入的重金属主要是砷和铅。经检测,4 种吸附剂处理前后,总砷和铅均未检出。可见,这 4 种吸附剂并未造成油脂的二次重金属污染。

2.3.3 维生素 E 的变化

维生素 E 是花生油中重要的营养成分之一,吸附剂吸附前后其含量变化如图 7 所示。

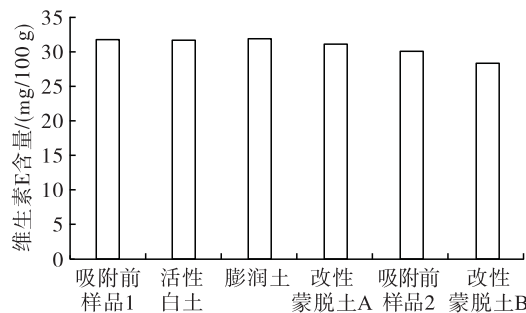


图 7 吸附剂吸附前后花生原油中维生素 E 含量的变化

由图 7 可知,4 种吸附剂对维生素 E 的含量均

有一定的影响,其中改性蒙脱土 B 吸附后维生素 E 损失最大,减少了 5.9%,其他吸附剂吸附后仅减少了不到 2%。可见,4 种吸附剂对维生素 E 含量的影响较小。

2.3.4 角鲨烯的变化

角鲨烯是花生油中营养成分之一,吸附剂吸附前后其含量变化如图 8 所示。

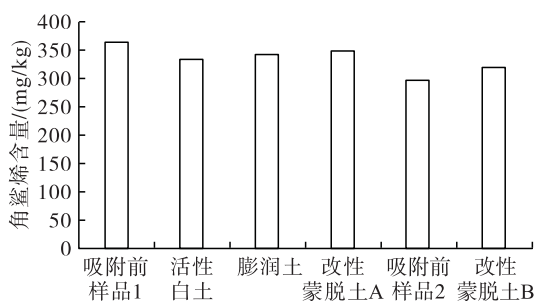


图 8 吸附剂吸附前后花生原油中角鲨烯含量的变化

由图 8 可知,4 种吸附剂对角鲨烯的含量均有一定的影响,其中改性蒙脱土 B 吸附后角鲨烯含量升高了 7.7%,该增加可能是由检测误差引起,其他 3 种吸附剂吸附后角鲨烯含量降低了不到 10%,该变化均在可接受的范围内。

2.3.5 甾醇的变化

甾醇也是花生油中重要的营养成分之一,吸附剂吸附前后其含量变化如图 9 所示。

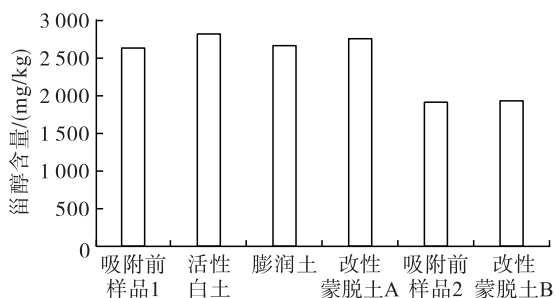


图 9 吸附剂吸附前后花生原油中甾醇含量的变化

由图 9 可知,4 种吸附剂对甾醇含量有一定影响。经吸附剂吸附后,甾醇含量均呈增加趋势,最低增加了 0.7%,最高增加了 7.1%。综合来看,4 种吸附剂对甾醇含量影响不大。

2.3.6 脂肪酸组成的变化

吸附剂吸附前后花生原油主要脂肪酸(油酸和亚油酸)含量的变化见图 10。由图 10 可知,改性蒙脱土 B 吸附后油酸含量降低了 0.1%,亚油酸含量升高了 0.1%,而其他 3 种吸附剂吸附后油酸与亚油酸含量保持不变。可见,4 种吸附剂对脂肪酸组成的影响极小。

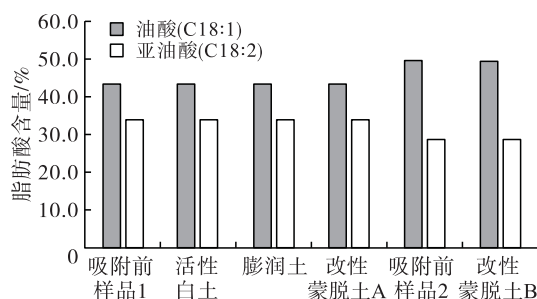


图 10 吸附剂吸附前后花生原油中油酸、亚油酸含量的变化

2.3.7 风味物质的变化

吸附剂吸附前后花生原油风味物质的种类及含量变化如表 1 所示。

表 1 吸附剂吸附前后花生原油风味物质种类及含量的变化

种类	及含量的变化					
	吸附前样品 1	改性蒙脱土 A	膨润土	活性白土	吸附前样品 2	改性蒙脱土 B
醇类	2.241	1.404	0.993	0.544	2.394	1.810
酚类	0.995	0.916	0.770	0.329	0.384	0.588
醛类	3.522	3.102	2.672	3.007	15.044	8.054
酸类	3.000	1.546	0.806	0.572	3.334	3.145
烃类	0.100	0.174	0.251	0.641	0.767	0.786
酮类	0.524	0.229	0.467	0.615	0.410	0.467
杂环	13.976	6.962	2.951	1.692	5.632	9.998
酯类	0.843	0.471	0.180	0.281	0.586	0.546
其他	0.132	0.019	0.012	0.071	0.115	0.275

由表 1 可知,对于样品 1:吸附前共鉴定出 87 种挥发性化合物,总含量为 25.333 mg/kg;经活性白土吸附后共鉴定出 69 种挥发性化合物,总含量为 7.752 mg/kg,风味物质种类保留 79.3%,含量保留 30.6%;经膨润土吸附后共鉴定出 72 种挥发性化合物,总含量为 9.102 mg/kg,风味物质种类保留 82.8%,含量保留 35.9%;经改性蒙脱土 A 吸附后共鉴定出 82 种挥发性化合物,总含量为 14.823 mg/kg,风味物质种类保留 94.3%,含量保留 58.5%。对于样品 2:吸附前共鉴定出 92 种挥发性化合物,总含量为 28.666 mg/kg;改性蒙脱土 B 吸附后共鉴定出 92 种挥发性化合物,总含量为 25.669 mg/kg,风味物质种类保留 100%,含量保留 89.5%。

相比于膨润土,活性白土的内比表面积较大,吸附能力较强,花生原油经其处理后,吸附的风味物质比经膨润土处理的多;改性蒙脱土相比膨润土,纯度高,杂质的剔除减少了其对花生原油中风味物质的吸附,花生原油经改性蒙脱土处理后可比经膨润土处理保留更多风味物质;不同改性方

法会导致蒙脱土孔间距、电荷分布以及比表面积不同,造成吸附能力差异,所以经改性蒙脱土 A 和改性蒙脱土 B 处理的花生原油中保留的风味物质含量也不同。

3 结论

活性白土对 AFB₁ 的吸附能力很强,按 0.3% 比例添加,其对 AFB₁ 吸附率可达 98%,但是其对风味物质的吸附也多,风味物质含量仅能保留 30.6%。风味物质含量的多少会影响消费者对产品喜好程度,所以活性白土的使用应综合考虑。膨润土相比活性白土和改性蒙脱土,要获得相同的 AFB₁ 吸附率,需要更高的添加量,由于油脂加工过程中吸附剂使用后均会带有一定的残油,所以添加量的增加会使加工过程中损耗增加,同时该膨润土存在吸附风味物质较多的问题。改性蒙脱土 A 和改性蒙脱土 B 均是由筛选出的蒙脱土改性所得,其中改性蒙脱土 A 是通过季铵盐有机改性获得,相比膨润土,它可以更少的添加量使 AFB₁ 吸附率达到 90%,具有更高的风味物质保留率。但季铵盐目前主要用于消毒剂产品,尚不在食品添加剂目录中,同时涉及的季铵盐检测方法也不完善,国内也没有针对季铵盐制定食品中的限量标准,因此季铵盐有机改性蒙脱土目前还不宜在食品工业生产中使用。改性蒙脱土 B 的改性剂原料都是现行国家安全标准(GB 2760—2014)目录中允许用于食品生产的,以 0.2% 的比例添加时,AFB₁ 吸附率能达到 94%~98%,同时能大幅保留风味物质,风味物质种类保留率为 100%,含量保留率达 89.5%。另外,4 种吸附剂基本未改变花生原油的酸值和过氧化值,对维生素 E、角鲨烯和甾醇含量的影响较小,在可接受的范围内。

综上所述,采用无机改性方法获得的改性蒙脱土 B,既具有较高吸附 AFB₁ 能力,又能极大程度地保留风味物质,同时对花生油的综合品质影响小,安全可靠,适宜在油脂行业推广应用。

参考文献:

- [1] 郑竞成,田华,何东平,等.花生油加工技术[M].北京:中国轻工业出版社,2019.
- [2] 张艺兵,鲍蕾,褚庆华.农产品中真菌毒素的检测分析[M].北京:化学工业出版社,2006.
- [3] 刘玉兰.油脂制取与加工工艺学[M].2版.北京:科学出版社,2009:360-361.
- [4] 刘玉兰,张小涛,赵欢欢,等.碱炼对菜籽油苯并芘脱除及脱色效果的研究[J].中国粮油学报,2014,29(4):53-56.
- [5] 刘玉兰,石龙凯,刘畅.利用吸附法脱除油脂中多环芳烃的效果研究[J].中国油脂,2015,40(9):70-76.
- [6] 刘玉兰,石龙凯,刘燕,等.吸附精制对芝麻香油多环芳烃脱除和风味保留的影响[J].现代食品科技,2016,32(9):248-253.
- [7] 张小涛,刘玉兰,赵欢欢.吸附法同时脱除菜籽油苯并芘及色泽最佳工艺条件研究[J].中国油脂,2013,38(12):10-14.
- [8] 赵欢欢,刘玉兰,张小涛,等.吸附法脱除芝麻油中苯并芘及脱色效果研究[J].粮油食品科技,2013,21(4):23-27.
- [9] 杨威,刘辉,雷芬芬,等.花生油制取工艺主要工段 3,4-苯并(a)芘及 3-氯丙醇酯的产生及脱除[J].食品科学,2020,41(8):27-35.
- [10] 食品安全国家标准 食品添加剂使用标准:GB 2760—2014[S].北京:中国标准出版社,2015.
- [11] 李璟睿,尹陈霜,马海燕,等.蒙脱土改性及应用的研究进展[J].化工技术与开发,2021,50(1):25-29.
- [12] 马文文,刁恩杰,李向阳,等.改性蒙脱土脱除花生油中黄曲霉毒素 B₁ 条件优化研究[J].中国粮油学报,2017,32(6):139-145.
- [13] 孙思远,刁恩杰,李向阳,等.有机改性蒙脱土吸附黄曲霉毒素 B₁ 能力的研究[J].食品与机械,2017,33(3):66-70.
- [14] 赵正容,时少坤,李俊情,等.有机改性蒙脱土研究进展[J].广东化工,2013,40(21):83,103.
- [15] 薛雅琳,夏天文,张磊,等.加工助剂对食用油脂安全性的影响[J].中国油脂,2006,31(6):31-33.