

利用紫外光降解花生油中黄曲霉毒素 B₁

贺冰^{1,2}, 毛劲^{2,3,4}, 张奇^{3,4,5}, 张良晓^{1,3,4}, 张文^{2,3,5}, 李培武^{1,2,3,4*}

- (1. 中国农业科学院油料作物研究所, 武汉 430062; 2. 农业部油料生物学与遗传育种重点实验室, 武汉 430062; 3. 农业部生物毒素检测重点实验室, 武汉 430062; 4. 农业部油料产品质量安全风险评估实验室, 武汉 430062; 5. 农业部油料及制品质量监督检验测试中心, 武汉 430062)

摘要: **目的** 评价紫外光照射对花生油中黄曲霉毒素 B₁(AFB₁)的降解效果以及油品质的安全性的影响。**方法** 采用波长为 365 nm, 功率 100 W 的紫外灯设备对花生油中的 AFB₁ 进行照射处理后, 分别利用高效液相色谱(HPLC)对花生油中的 AFB₁ 的含量, 滴定法对过氧化值, Ranciment 法对氧化稳定性以及气相色谱法(GC)对不饱和脂肪酸的含量进行跟踪测定。**结果** 结果表明, 随着紫外光照射时间的延长, 花生油中黄曲霉毒素的含量逐渐降低, 在 25 min 内降解率可达 90%, 过氧化值、不饱和脂肪酸的含量以及氧化稳定性这些品质指标数值均无明显变化。**结论** 紫外光照射脱毒技术不仅对花生油中的 AFB₁ 有很好的降解效果, 并且对油品质无显著影响。**关键词:** 紫外光; 降解; 黄曲霉毒素 B₁; 花生油

Degradation of aflatoxin B₁ in peanut oil by ultraviolet irradiation

HE Bing^{1,2}, MAO Jin^{2,3,4}, ZHANG Qi^{3,4,5}, ZHANG Liang-Xiao^{1,3,4}, ZHANG Wen^{2,3,5}, LI Pei-Wu^{1,2,3,4*}

- (1. Oil Crops Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Wuhan 430062, China; 2. Key Laboratory of Biology and Genetic Improvement of Oil Crops, Ministry of Agriculture, Wuhan 430062, China; 3. Key Laboratory of Detection for Mycotoxins, Ministry of Agriculture, Wuhan 430062, China; 4. Laboratory of Risk Assessment for Oilseeds Products (Wuhan), Ministry of Agriculture, Wuhan 430062, China; 5. Quality Inspection and Test Center for Oilseeds Products, Ministry of Agriculture, Wuhan 430062, China)

ABSTRACT: Objective To evaluate the effects of degradation of aflatoxin B₁ and the quality and safety of peanut oil by ultraviolet (UV) irradiation. **Methods** Aflatoxin B₁ in peanut oil was irradiated under UV light with 365 nm and 100 W. The content of aflatoxin B₁ in peanut oil was detected by high performance liquid chromatography (HPLC), the peroxide value was detected by titration, the oxidative stability was detected by Ranciment method, and the content of unsaturated fatty acid was detected by gas chromatography (GC), respectively. **Results** The results showed that the content of aflatoxin B₁ in peanut oil decreased with the extension of irradiation time. The efficiency of aflatoxin B₁ detoxification in peanut oil reached 90% after 25 min under UV irradiation and the quality indexes such as peroxide value, unsaturated fatty acid and oxidative stability scarcely changed. **Conclusion** UV irradiation method not only has good performance on aflatoxin B₁ detoxification in peanut oil, but also has no significant impact on the quality of peanut oil.

KEY WORDS: ultraviolet irradiation; degradation; aflatoxin B₁; peanut oil

基金项目: 国家自然科学基金项目(31401601)、农业行业科技专项(201303088)

Fund: Supported by the National Natural Science Foundation of China (31401601) and Special Fund for Agro-Scientific Research in the Public Interest (201303088)

*通讯作者: 李培武, 博士, 研究员, 主要研究方向为农产品质量标准与检测技术研究。E-mail: peiwuli@Oilcrops.cn

*Corresponding author: LI Pei-Wu, Researcher, Oil Crops Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, No.2, Xudong 2nd Road, Wuchang District, Wuhan 430062, China. E-mail: peiwuli@Oilcrops.cn

1 引言

全球的食用油消费主要以植物油为主,我国是世界上10种食用油消费量最大的国家^[1]。花生油中含有丰富的油酸和亚油酸,组成比例与橄榄油相似^[2],营养价值丰富。然而,花生在高温高湿环境下,很容易受到黄曲霉或寄生曲霉菌的污染并产生黄曲霉毒素^[3],如果采用受污染的花生作为原料榨油,花生油中可能存在黄曲霉毒素超标的风险。众所周知,黄曲霉毒素是一类由黄曲霉和寄生曲霉产生的次生代谢产物^[4,5],对人和动物具有致畸、致癌、致突变的作用,主要种类包括B₁、B₂、G₁、G₂、M₁和M₂^[6,7]。在这些毒素中,以黄曲霉毒素B₁(AFB₁)的毒性最强,可诱发几乎所有动物发生肝癌^[8,9],早在1993年就被世界卫生组织归为I类致癌物^[10,11]。国内外曾发生过多起因黄曲霉毒素超标而导致的人畜中毒死亡恶性事件,成为食品安全消费以及现代农业产业发展的限制因素。因此,食用植物油中黄曲霉毒素的防控和脱毒解毒手段成为当前国家安全和人类健康的迫切需要。目前的去毒方法主要包括物理法、化学法和生物法3类^[12],物理法主要包括辐照法和吸附法。辐照法是利用电离辐射的原理,采用紫外光或 γ 射线等物理方法照射样品以达到去毒的效果;吸附法主要是利用活性炭的吸附作用。化学方法是利用强氧化剂或强碱等化学试剂来对样品进行处理^[13-15],最常用是碱液,它的作用机制是碱与黄曲霉毒素发生反应,使其分子结构中的内酯环被水解断开,形成溶于水的香豆素钠盐,再通过水洗将毒素除去。但该过程是可逆的,且内酯环在酸性条件下又会重新结合使黄曲霉毒素恢复毒性^[16]。此外,碱液处理需要用大量的碱液与花生原料拌匀,成本高,难以用于实际生产,且破坏油脂结构,引入新的化学残留,影响产品品质风味^[17]。生物学方法主要包括微生物吸附、微生物代谢产物降解等,该方法目前还处在研究阶段,大规模应用受到限制^[18]。因此,紫外辐射降解黄曲霉毒素方法因其无二次污染、操作简便、降解效果好等特点在国内外得到广泛研究。

紫外辐射可有效去除花生油中的黄曲霉毒素,且对花生油的酸价、碘价及维生素E含量无明显影响^[19,20]。本实验室前期研究发现紫外线可有效去除花生中的黄曲霉毒素,且对其多酚和白藜芦醇含量影响不明显。但是紫外光波长短,能量大,容易破坏物质的化学结构,并发生较为复杂的光化学反应,而花生油中的某些营养成分,如不饱和脂肪酸等物质含有较多的不饱和结构,易被氧化,因此在去毒过程中可能也会受到影响,从而使花生油中的某些营养成分遭到破坏。本研究针对紫外照射对花生油中黄曲霉毒素的去毒效果以及油品质安全性方面进行评价,主要包括对过氧化值、氧化稳定性、主要不饱和脂肪酸的含量测定等,从而对花生油紫外去毒技术的风险管理提供技术支持。

2 材料与方法

2.1 仪器与试剂

紫外灯(常州玉宇电光器件有限公司,365 nm,100 W);Agilent 1100系列高效液相色谱仪(美国Agilent公司,带FLD检测器);KQ-800KDE超声波清洗器(昆山市超声仪器有限公司);BF-2000氮吹仪(北京八方世纪科技有限公司);Milli-Q超纯水系统(美国Milipore公司);743Rancimat测定仪(瑞士万通)。

浓香型一级压榨花生油(山东鲁花);黄曲霉毒素标准品(100%甲醇溶解,纯度99%,美国Sigma公司);实验室自制AFB₁免疫亲和柱;乙腈、甲醇(HPLC级);没食子酸(美国Sigma公司);福林酚试剂(美国Sigma公司);碳酸钠试剂、碘化钾、酚酞、淀粉、硫代硫酸钠、乙醇、乙醚(分析纯,国药集团);实验室用水为Milli-Q超纯水。

2.2 试验方法

2.2.1 AFB₁标准溶液的配制

AFB₁标准品以甲醇为溶剂被配制成浓度为24.4 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 的标准储备液,在4 $^{\circ}\text{C}$ 的低温条件下被避光保存。用甲醇作为稀释标准储备液的溶剂,配制浓度分别为18.75、37.5、75、150、300 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 的一系列AFB₁标准工作溶液,同样在4 $^{\circ}\text{C}$ 的低温条件下避光保存。

2.2.2 样品前处理

①试样制备

将含有AFB₁的花生油与不含AFB₁的花生油按比例混合均匀,经液相色谱(HPLC)测定,混合后的油样中AFB₁浓度约为100 $\mu\text{g}/\text{L}$,取适量含毒素的花生油样置于直径为90 mm的玻璃培养皿中,采用波长为365 nm的紫外灯置于密闭木箱顶部,将内置油样的培养皿置于木箱底部,紫外灯照射高度为10 cm,待紫外灯充分预热后开始处理样品,照射时间分别为0、5、10、15、20、25 min时取样,处理后的花生油样品用HPLC测定AFB₁的含量,并进行相关营养品质的评价分析,每个样品每个指标需做3次重复实验。

②AFB₁的提取

准确称取2.5 g上述方法制备的花生油置于50 mL离心管中,加入7.5 mL乙腈,涡旋混匀,超声提取10 min后,取1.5 mL下层乙腈溶液,加入4 mL水稀释,稀释液过0.22 μm 有机相滤膜,取5 mL滤液于试管中待用。

③净化

采用实验室自制AFB₁免疫亲和柱,先用10 mL纯水淋洗柱子,后加入5 mL上述滤液,然后向试管中加入10 mL纯水将试管冲洗后淋洗1次,待液体流尽,再加入10 mL纯水淋洗,整个过程中控制流速约为2 s/滴,最后用1 mL甲醇洗脱后,收集洗脱液。

2.2.3 AFB₁检测的液相色谱条件

Agilent 1100 高效液相色谱仪, C₁₈ 反相色谱柱(4.6 mm×15 cm, 5 μm), 进样量 10 μL, 流动相为 45%的甲醇水(45:55, V:V), 流速为 0.7 mL/min; 荧光检测器激发波长 360 nm, 发射波长 440 nm。

2.2.4 花生油过氧化值的测定

准确称取 1.8 g 花生油于 250 mL 碘量瓶中, 向其中加入 50 mL 乙酸/异辛烷混合溶液(3:2, V:V), 盖上塞子摇动至样品溶解, 准确加入 0.5 mL 饱和碘化钾溶液, 盖上塞子使其反应 1 min 后, 加入 30 mL 蒸馏水振荡混匀, 立即用 0.1 mol/L 硫代硫酸钠标准溶液进行滴定, 滴定至淡黄色时加入约 0.5 mL 淀粉指示剂, 继续滴定至蓝色消失, 为滴定终点, 这时记录下消耗的标准溶液的体积, 同时, 按同样的操作进行空白实验。过氧化值的计算公式为

$$P = \frac{1000(V - V_0)C}{2m}$$

式中, V , 用于测定的硫代硫酸钠溶液的体积, mL;

V_0 , 用于空白的硫代硫酸钠溶液的体积, mL;

C , 硫代硫酸钠标准溶液的浓度, mol/L;

M , 试样的质量, g。

2.2.5 花生油中不饱和脂肪酸含量的测定

准确称取 0.06~0.07 g 花生油样(约 3 滴)于 10 mL 离心管中, 加入 1 mL 石油醚/乙醚混合溶液(1:1, V:V), 再加入 2 mL 浓度为 0.4 mol/L 的氢氧化钾/乙醇混合溶液, 充分涡旋后, 静置使其反应 2.5 h 后, 再次涡旋, 静置 15 min, 然后加入 2 mL 超纯水, 静置待其分层后, 取上清液 200 μL, 用石油醚稀释至 1 mL 后上机, 进行气相色谱分析。

气相色谱条件:分流进样, 分流比 1:10; 进样口温度 230 °C; 载气为 99.999%的氮气, 流速为 1.0 mL/min, 色谱柱为 DB-23 毛细管柱(30 m×0.32 mm, 0.2 μm); 程序升温:初始温度 180 °C, 保持 5 min, 3 °C/min 升温至 230 °C; 检测器为氢火焰离子化检测器(FID), 温度为 280 °C。

2.2.6 花生油氧化稳定性的测定

氧化稳定性测定实验中选用的温度为 110 °C, 补偿温度 1.5 °C, 空气流量: 20 L/h。

方法如下: 准确称取 3.0 g 花生油于反应试管底部(注意不要将花生油样沾到试管壁上), 加 50 mL 超纯水于测量池中, 连接好仪器并仔细检查各处是否有漏气情况, 通过电导率的变化来观察诱导时间。

3 结果与分析

3.1 AFB₁的检测

3.1.1 AFB₁的标准曲线

按方法 2.2.1 制得 AFB₁ 的一系列标准工作溶液, 各进样 10 μL 进行测定, 重复进样 3 次, 以不同浓度和其对应的平均峰面积值来制作 AFB₁ 的标准曲线, 如图 1, 从图中可知, AFB₁ 在相关检测范围内, 浓度和峰面积有非常好的线性关系,

线性回归方程为 $Y=3.5591X-11.598$, 相关系数为 0.9996。

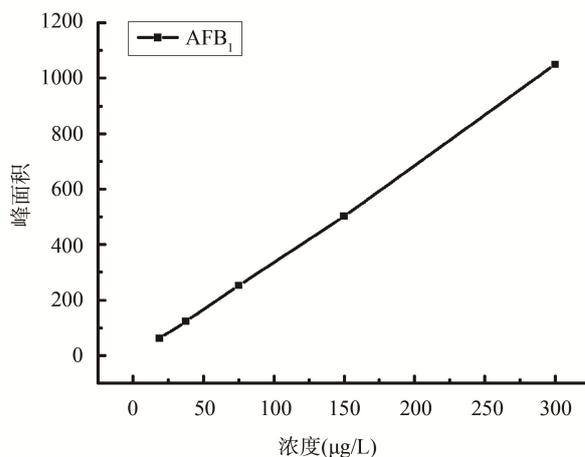


图1 AFB₁的标准曲线

Fig. 1 Standard curve of AFB₁

3.2 花生油中 AFB₁ 紫外降解效果研究

3.2.1 不同时间的紫外照射对黄曲霉毒素去毒效果的研究

研究证实^[21], AFB₁ 在乙腈溶液和水溶液中经过紫外光照射后都有良好的降解效果, 张小勇等^[22]研制了一套利用紫外灯辐射作用连续降解食用植物油中 AFB₁ 的设备, 该设备处理样品 15 min 时降解率高达 95%以上。本实验探究了 AFB₁ 在花生油中经过紫外照射处理后的降解情况, 选取的是实验波长为 365 nm 的紫外光, 图 2 是含 AFB₁ 的花生油在紫外照射处理前后的高效液相色谱对比图, 从图中可以看到, 含 AFB₁ 的花生油在经过 25 min 的紫外照射处理后, AFB₁ 含量明显降低。图 3 是花生油中不同照射时间条件下 AFB₁ 的降解曲线, 结果显示, 含 AFB₁ 初始浓度为 100 μg/L 的花生油, 在波长为 365 nm 的紫外光照射下, 随着照射时间的延长, 样品中 AFB₁ 的含量逐渐降低, 在 25 min 内基本可以降解到初始浓度的 5%以下, 并且随着毒素浓度含量的不断降低, 降解速率也在逐渐变小, 证明波长为 365 nm 的紫外光对 AFB₁ 具有非常好的降解效果。

有关降解产物的安全性评价方面, 沈祥震^[23]通过 HepG₂ 细胞活性实验和 Ames 实验对经过紫外照射处理后的花生油体系中的黄曲霉毒素降解产物进行了安全性评价, 实验结果表明, 花生油中黄曲霉毒素经过处理后, 毒性和致突变性均显著降低, 这可能是由于黄曲霉毒素 B₁ 的基本分子结构遭到了破坏, 从而使毒性消失。利用酶联免疫技术方法能够探究 AFB₁ 及其紫外降解产物对与人类肿瘤相关性最高的抑癌基因 p53 表达量的作用, 结果表明, AFB₁ 使 p53 的表达量显著降低, 而降解产物对 p53 基因的表达量基本无影响。关于本实验中 AFB₁ 及其紫外降解产物对细胞活性的影响将在以后的研究中进一步开展。

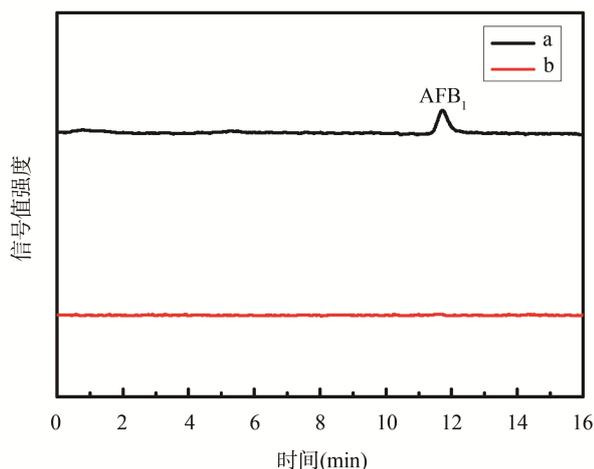


图 2 含 AFB₁ 的花生油样品在紫外照射处理前后的高效液相色谱对比图(a: 未紫外照射处理的含 AFB₁ 的花生油样品, b: 经过紫外照射处理的含 AFB₁ 的花生油样品)

Fig. 2 Comparison of peanut oil samples before and after irradiation by HPLC chromatography (a: the peanut oil containing AFB₁ before after UV irradiation, b: the peanut oil containing AFB₁ after UV irradiation)

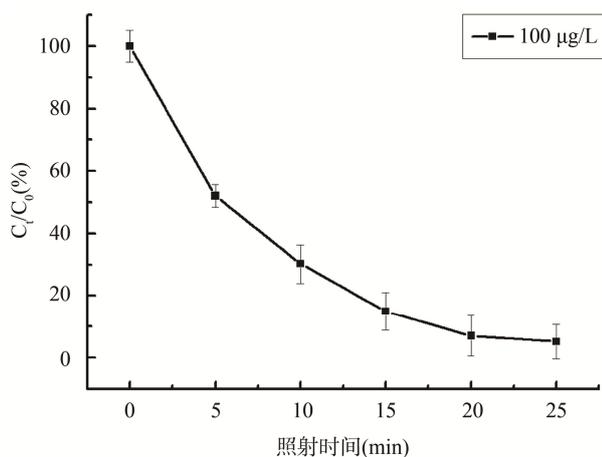


图 3 花生油中不同照射时间下 AFB₁ 的降解曲线

Fig. 3 Degradation curve of AFB₁ at different time in peanut oil

3.2.2 黄曲霉毒素在花生油体系中降解动力学研究

绝大多数降解反应均符合一级动力学特征, 一级动力学方程已经被广泛地应用于描述物质的降解过程。该试验所使用的一级动力学方程为 $\ln(C_t/C_0) = -kt$, 其中 C_t 代表花生油中黄曲霉毒素降解后某时间点的浓度, C_0 代表花生油中黄曲霉毒素的初始浓度, k 表示的是降解速率常数, t 代表的是降解时间点, 如图 4 所示, 本研究中对不同时间条件下的 $\ln(C_t/C_0)$ 与照射时间拟合, 结果显示线性拟合良好 ($r^2 = 0.9$), 相关系数为 0.9924, 降解曲线符合一级动力学特征。

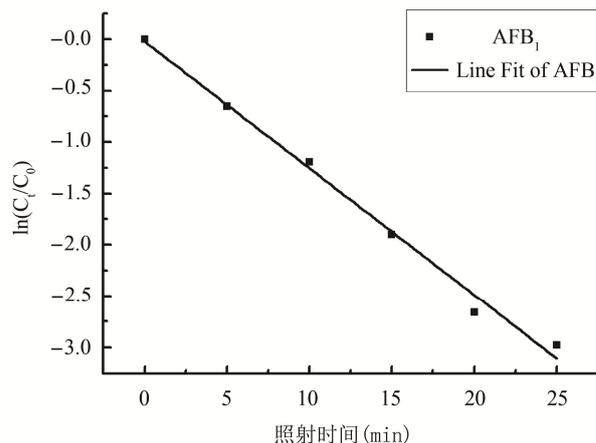


图 4 紫外照射不同时间条件下含 AFB₁ 的花生油的降解动力学
Fig. 4 Kinetics of the degradation of AFB₁ at different time in peanut oil

3.3 紫外照射对花生油营养品质的影响研究

3.3.1 紫外光照射对花生油过氧化值的影响

刘睿杰等^[20]已证实, 在一定剂量的紫外光照射处理下, 花生油的酸价、碘价均未发生显著变化。过氧化值反映了油脂氧化酸败的程度, 油脂在败坏的过程中, 不饱和脂肪酸被氧化, 能够形成具有很强活性的过氧化物, 再进行聚合或分解, 会产生醛、酮或低分子量的有机酸类。过氧化物是油脂发生酸败变化的中间产物, 因此常以过氧化物在食用油中的出现, 作为食用油开始败坏的标志。所以过氧化值的检测是判断油脂是否开始酸败的一项重要指标。在一定的紫外照射条件下, 花生油过氧化值的变化情况如图 5 所示, 从图 5 可知, 花生油样品经过一定剂量的紫外照射处理后, 过氧化值有一定程度的增加, 这可能是由于紫外光的能量较强, 可以促使油脂产生自由基或其中所含的氢过氧化物分解, 实验结果表明经过 25 min 照射后花生油样品的过氧化值有一定程度的升高, 但是并未超出 6 mmol/kg, 依然在国家规定的标准范围内。

3.3.2 紫外照射下花生油中不饱和脂肪酸的含量变化

花生油中不饱和脂肪酸的含量及种类丰富, 其中以油酸和亚油酸为主, 两者总含量占有所有脂肪酸含量的 80% 以上。因此, 选取这两种不饱和脂肪酸为主要的研究对象具有一定的代表性。不饱和脂肪酸是人体内的必需脂肪酸, 对人体的健康具有极大的好处, 但其结构中含有较多的不饱和结构, 在紫外照射下可能会发生氧化反应。图 6 是一定的紫外照射条件下, 花生油中不饱和脂肪酸的含量变化情况。结果发现, 油酸以及亚油酸的含量经紫外照射处理后 25 天储藏期内有微弱的增加, 但差异不显著 ($P > 0.05$)。脂肪酸的含量与油脂的酸价是息息相关的, 已经有研究结果表明, 经过紫外光处理后的花生油其酸价是基本保持不变的, 因此不

饱和脂肪酸含量也维持不变的可能的原因是, 波长为 365 nm 的紫外光照射对不饱和脂肪酸的结构未能起到破坏作用。

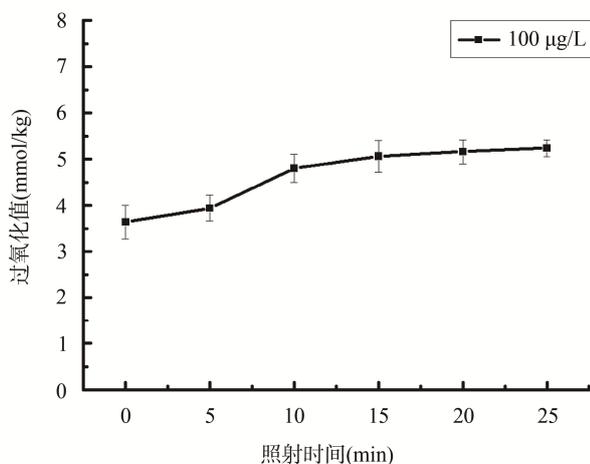


图 5 紫外照射处理下花生油过氧化值的变化

Fig. 5 Changes of peroxide value of peanut oil during UV irradiation processing

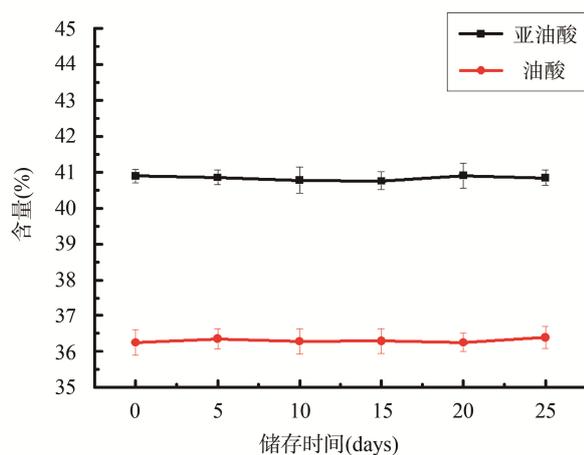


图 6 紫外照射处理下花生油中不饱和脂肪酸含量的变化

Fig. 6 Changes of content of unsaturated fatty acid in peanut oil during UV irradiation processing

3.3.3 紫外光照射对花生油氧化稳定性的影响

油脂的氧化是导致其酸败变质的主要因素, 氧化稳定性是用来评价油脂质量的重要指标, 它反映了油脂的耐贮性。油脂的氧化稳定性与所处环境密切相关, 在高温、光照等条件下氧化稳定性都会明显减弱, 图 7 显示了油脂在紫外照射条件下氧化稳定性的变化情况, 花生油经过紫外照射处理后, 氧化稳定性发生微弱变化, 差异不显著。氧化稳定性反映了花生油的抗氧化能力, 说明紫外光照射在短时间内并未对花生油的抗氧化能力造成影响。

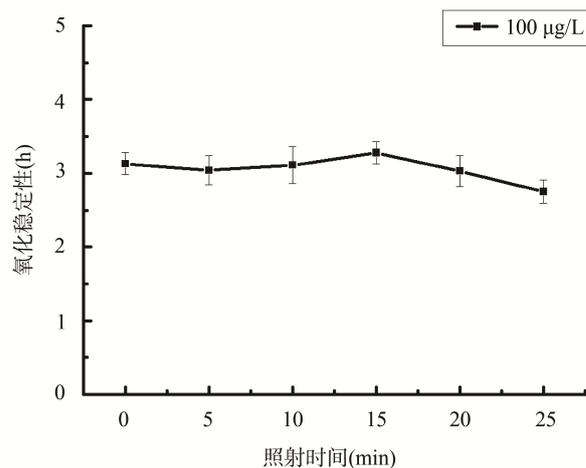


图 7 紫外照射处理下花生油氧化稳定性的变化

Fig. 7 Changes of oxidative stability of peanut oil during UV irradiation processing

4 结 论

本实验研究证明, 紫外照射对花生油中的 AFB₁ 有非常好的降解效果, AFB₁ 初始浓度为 100 µg/L 的花生油经过 25 min 的紫外照射处理后, 降解率能够达到 90% 以上, 去毒效果非常明显。并且在相同的紫外光强度照射下, 经过处理后的含 AFB₁ 的花生油样品的各项品质指标, 如过氧化值、不饱和脂肪酸的含量以及氧化稳定性等也均未发生明显变化, 说明该项技术对花生油的品质基本无影响, 在今后的研究中将进一步开展上述各项品质指标在全储藏期的跟踪测定工作。由此, 紫外照射降解花生油中 AFB₁ 这一技术不仅操作简便, 无污染, 并且是安全可行的, 可以在生产实践加以应用。

参考文献

- [1] 柳苏芸, 徐锐钊, 姜楠. 中国及亚洲主要国家食用油消费研究[J]. 农业展望, 2013, 9(7): 71-74.
Liu SY, Xu RZ, Jiang N. Study on edible oil consumption in China and major countries of Asian [J]. Agric Outlook, 2013, (7): 71-74.
- [2] 徐同成, 王文亮, 程安玮, 等. 花生油的营养价值及掺伪检测技术[J]. 粮油加工, 2010, 8: 29-32.
Xu TC, Wang WL, Cheng AW, et al. Nutritional value and adulteration detection technology of peanut oil [J]. Cereals Oils Proc, 2010, 8: 29-32.
- [3] Diao EJ, Hou HX, Chen B, et al. Ozonolysis efficiency and safety evaluation of aflatoxin B₁ in peanuts [J]. Food Chem Toxicol, 2013, 55(3): 519-525.
- [4] Rustom IYS. Aflatoxin in food and feed: occurrence, legislation and inactivation by physical methods [J]. Food Chem, 1997, 59(1): 57-67.
- [5] 宫春波, 姜连芳, 张永翠, 等. 黄曲霉毒素在食品中的危害及去除方法 [J]. 食品研究与开发, 2004, 25(1): 120-123.
Gong CB, Jiang LF, Zhang YC, et al. Hazard and removal methods of aflatoxin in food [J]. Food Res Dev, 2004, 25(1): 120-123

- [6] Li PW, Zhang Q, Zhang W, *et al.* Development of a class-specific monoclonal antibody-based ELISA for aflatoxins in peanut [J]. *Food Chem*, 2009, 115(1): 313–317.
- [7] 李书国, 陈辉, 李雪梅, 等. 粮油食品中黄曲霉毒素检测方法综述[J]. *粮油食品科技*, 2009, 17(2): 62–65.
Li SG, Chen H, Li XM, *et al.* Summary of the methods detecting aflatoxin in cereal and oil food [J]. *Sci Technol Cereals Oils Foods*, 2009, 17(2): 62–65.
- [8] Akbas MY, Ozdemir M. Effect of different ozone treatments on aflatoxin degradation and physicochemical properties of pistachios [J]. *J Sci Food Agric*, 2006, 86(13): 2099–2104.
- [9] 戴玉婷, 雷涛, 张文珠, 等. 食品中黄曲霉毒素 B₁ 检测方法研究进展[J]. *农业机械*, 2011, 20: 149–152.
Dai YT, Lei T, Zhang WZ, *et al.* Research advance on the determination methods of aflatoxin B₁ in food [J]. *Agric Mach*, 2011, 20: 149–152.
- [10] Zhang, DH, Li PW, Zhang Q, *et al.* Production of ultrasensitive generic monoclonal antibodies against major aflatoxins using a modified two-step screening procedure [J]. *Anal Chim Acta*, 2009, 636(1): 63–69.
- [11] 王君, 刘秀梅. 食品中黄曲霉毒素限量标准中的成本-效益分析[J]. *卫生研究*, 2011, 40(2): 150–153.
Wang J, Liu XM. Cost-benefit analysis in setting up limitation standards of aflatoxins in foods [J]. *J Hyg Res*, 2011, 40(2): 150–153.
- [12] 孔青, 翟翠萍, 林洪, 等. 粮油食品中黄曲霉毒素去除方法研究进展[J]. *粮食加工*, 2011, 36(4): 47–50.
Kong Q, Zhai CP, Lin H, *et al.* Research progress on the removal of aflatoxin in foods [J]. *Grain Proc*, 2011, 36(4): 47–50.
- [13] 李秀缺, 张薇, 张爱菊, 等. 花生中黄曲霉毒素的防控及去除方法[J]. *食品工程*, 2010, 2: 25–27.
Li XQ, Zhang W, Zhang AJ, *et al.* Prevention and control of aflatoxin in peanuts and removal methods [J]. *Food Eng*, 2010, 2: 25–27.
- [14] 阳伟红. 饲料黄曲霉毒素去毒方法[J]. *四川畜牧兽医*, 2015, 9: 49–49.
Yang WH. Detoxification methods of aflatoxin in feed [J]. *Sichuan Anim Vet Sci*, 2015, 9: 49–49.
- [15] 王立明. 黄曲霉毒素的理化去毒方法[J]. *科协论坛*, 2010, 7: 59–59.
Wang LM. Physical and chemical removal methods of aflatoxin [J]. *Sci Technol Assoc Forum*, 2010, 7: 59–59.
- [16] 李培武, 张道宏, 杨扬, 等. 粮油制品中黄曲霉毒素脱毒研究进展[J]. *中国油料作物学报*, 2010, 32(2): 315–319.
Li PW, Zhang DH, Yang Y, *et al.* A review of the detoxification of aflatoxins in cereal and oilseeds products [J]. *Chin J Oil Crop Sci*, 2010, 32(2): 315–319.
- [17] 王波, 杨琳, 张宇昊, 等. 黄曲霉毒素去毒方法研究进展[J]. *中国油脂*, 2011, 36(2): 60–63.
Wang B, Yang L, Zhang YH, *et al.* Progress on detoxification methods of aflatoxin [J]. *Chin Oils Fats*, 2011, 36 (2): 60–63.
- [18] 王宁, 马秋刚, 张建云, 等. 黄曲霉毒素的传统去毒方法和生物降解研究进展[J]. *饲料与畜牧*, 2008, 7: 17–19.
Wang N, Ma QG, Zhang JY, *et al.* Research on traditional removal and biodegradation methods of aflatoxin [J]. *Feed Husb*, 2008, 7: 17–19.
- [19] 刘睿杰, 金青哲, 陈波, 等. 紫外照射去除黄曲霉毒素工艺对花生油品质的影响[J]. *中国油脂*, 2011, 36(6): 17–20.
Liu RJ, Jin QZ, Chen B, *et al.* Effect of aflatoxin detoxification by UV irradiation treatment on peanut oil quality [J]. *Chin Oils Fats*, 2011, 36(6): 17–20.
- [20] 刘睿杰. 黄曲霉毒素 B₁ 在不同介质中紫外降解机理及安全性评价[D]. 无锡: 江南大学, 2011.
Liu RJ. Photodegradation mechanisms and safety evaluation of aflatoxin B₁ in different medias [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2011.
- [21] 陈冉. 花生中黄曲霉毒素降解技术研究[D]. 武汉: 中国农业科学院, 2013.
Chen R. Study on degradation of aflatoxin in peanuts [D]. Wuhan: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2013.
- [22] 张小勇, 倪芳妍, 方晓璞, 等. UVA 紫外灯辐照连续降解食用植物油中黄曲霉毒素 B₁ 的设备[J]. *中国油脂*, 2015, 40(12): 99–101.
Zhang XY, Ni FY, Fang XP, *et al.* Equipment for continuously degrading aflatoxin B₁ in edible vegetable oil with UVA ultraviolet lamp radiation [J]. *Chin Oils Fats*, 2015, 40(12): 99–101.
- [23] 沈祥震. 花生油中黄曲霉毒素 B₁ 紫外降解及安全性评价[D]. 泰安: 山东农业大学, 2012.
Shen XZ. UV-irradiation detoxification and safety evaluation of aflatoxin B₁ in peanut oil [D]. Taian: Shandong Agricultural University, 2012.

(责任编辑: 金延秋)

作者简介



贺冰, 硕士研究生, 主要研究方向为农产品质量安全风险评估技术。
E-mail: xinxianghebing@163.com



李培武, 博士生导师, 主要研究方向为农产品质量标准与检测技术研究。
E-mail: peiwuli@Oilcrops.cn