

紫外 LED 冷光降解黄曲霉毒素 B₁ 技术对花生油品质影响的研究

郑娟梅¹, 王海波¹, 李昌宝^{2,3*}, 辛 明^{2,3}, 叶 金⁴, 伍先绍⁵

(1. 广西-东盟食品检验检测中心, 南宁 530021;

2. 广西壮族自治区农业科学院农产品加工研究所, 南宁 530007; 3. 广西果蔬贮藏与加工新技术重点实验室, 530007;

4. 国家粮食和物资储备局科学研究院, 北京 100037; 5. 广西壮族自治区粮油质量检验站, 南宁 530031)

摘 要: **目的** 考察紫外 LED 冷光降解黄曲霉毒素 B₁(AFB₁)对花生油品质的影响。**方法** 通过测定紫外 LED 冷光照射前后脂肪酸、酸价、过氧化值的变化来初步评价对花生油脂肪酸的影响。**结果** 经紫外 LED 冷光技术处理的花生油, 其脂肪酸组成及含量变化, 酸价和过氧化值的变化均无显著性差异($P>0.05$), 对花生油的品质影响不大。**结论** 黄曲霉毒素降解机(紫外 LED 冷光技术)基本对花生油品质无影响, 为花生油加工企业的实际生产提供一定的参考。

关键词: 紫外 LED 冷光照射; 花生油; 脂肪酸

Study on the influence of peanut oil quality by ultraviolet LED cold light technology degradation of Aflatoxin B₁

ZHENG Juan-Mei¹, WANG Hai-Bo¹, LI Chang-Bao^{2,3*}, XIN Ming^{2,3}, YE Jin⁴, WU Xian-Shao⁵

(1. Guangxi-ASEAN Center for Food and Drug Safety Control, Nanning 530021, China; 2. Agro-Food Science and Technology Research Institute, Guangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanning 530007, China; 3. Guangxi Key Laboratory of Fruits and Vegetables Storage Processing Technology, Nanning 530007, China; 4. Academy of National Food and Strategic Reserves Administration, Beijing 100037, China; 5. The Grain and Oil Quality Inspection Station of Guangxi Zhuang Autonomous Region, Nanning 530031, China)

ABSTRACT: Objective To investigate the effect of ultraviolet LED cold light degradation of aflatoxin B₁ (AFB₁) on the quality of peanut oil. **Methods** The effect on peanut oil fatty acid was preliminarily evaluated by measuring the changes of fatty acid, acid value and peroxide value before and after Ultraviolet LED cold light irradiation. **Results** Peanut oil treated by ultraviolet LED cold light technology displayed no significant difference in fatty acid composition and content, acid value and peroxide value ($P>0.05$), which had little effect on the quality of peanut oil. **Conclusion** Aflatoxin degradation machine (ultraviolet LED cold light technology) basically has no effect on the quality of peanut oil, and provides a certain reference for the actual production of peanut oil processing enterprises.

KEY WORDS: ultraviolet LED cold light irradiation; peanut oil; fatty acid

基金项目: 广西科技重大专项(桂科(AA17204042), 广西壮族自治区食品药品监督管理局[桂食药科 2018-8(直属)]

Fund: Supported by Guangxi Science and Technology Major Project (AA17204042), and Scientific Research Project of Guangxi Food and Drug Administration[Gui Food Division 2018-8 (directly)]

*通讯作者: 李昌宝, 副研究员, 硕士, 主要研究方向为食品质量与安全。E-mail: 330841759@qq.com

*Corresponding author: LI Chang-Bao, Associate Professor, Master, Agro-food Science and Technology Research Institute, Guangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanning 530007, E-mail: 330841759@qq.com。

1 引言

花生油是我国城乡居民消费的主要食用植物油,由大约80%不饱和脂肪酸和20%饱和脂肪酸混合组成^[1]。由于花生采收的季节具有高温高湿的气候特点,容易污染黄曲霉并产生黄曲霉毒素。黄曲霉毒素是当前发现的毒性最强的真菌毒素之一,具有高度的致癌、致畸、致细胞突变的特性,其性质较稳定,在花生加工产油过程中难以滤除,残留较为突出^[2-6]。花生油及食用农产品的黄曲霉毒素的脱毒方法主要有物理法、化学法和生物技术法^[7-12]。传统的碱炼去除黄曲霉毒素法,虽能有效的除去花生油中的黄曲霉毒素,但对花生油的色、香、味及营养成分影响较大,且易带来二次污染。目前以紫外LED冷光法去除黄曲霉毒素B₁,其脱毒效果良好,但对花生油品质的影响尚未明确^[13]。

脂肪酸的组成及含量是评定花生油质量主要指标之一,也是其营养价值重要体现^[14],其种类繁多,主要分3大类,包括饱和脂肪酸、单不饱和脂肪酸(含1个不饱和键)、多不饱和脂肪酸(含≥2个不饱和键)^[15]。脂肪酸主要成分有油酸、亚油酸和棕榈酸、生育酚、磷脂、甾醇等活性成分,对维持人体的健康密切相关^[15,16]。因此,花生油中脂肪酸组成和含量,是评定其加工方法优劣的重要指标,考察紫外LED冷光法对花生油中脂肪酸含量的影响^[13],是决定此法对是否能应用于花生油加工的重要依据之一。

气相色谱法(gas chromatography, GC)^[17]、高效液相色谱法(high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry, HPLC-MS)^[18]、超高效液相色谱-蒸发光散射检测法(ultra high performance liquid chromatography-evaporative light scattering detection, UPLC-ELSD)^[19]、近红外漫反射光谱法(near-infrared diffuse reflectance spectroscopy, NIDRS)^[20]等技术是脂肪酸类成分定性、定量检测常用的分析方法。以上方法仍存在一定局限性,对于成分复杂、存在多种同分异构体、含量较低的脂肪酸,其分析效能不能令人满意。气相色谱-质谱联用仪(gas chromatograph-mass spectrometry, GC-MS)可对未知物进行鉴定,通过标准谱库检索对未知色谱峰进行结构鉴定,给出可能的结构式。气相色谱质谱法具有较宽的检测范围和较低的检测限。利用气相色谱的高分离度和质谱的高灵敏度,低检测限对于复杂结构样品有很好的检测效果,同时不需要标准品对照是较为理想检测手段。目前应用紫外LED冷光法对花生油中脂肪酸含量的影响研究较少。

本研究通过使用GC-MS定性定量分析方法,对紫外LED冷光法除黄曲霉毒素B₁前后,花生油中54种脂肪酸的含量的变化进行检测,并评价紫外LED冷光法对花生油品质的影响,为花生油加工企业的实际生产提供一定的参考。

2 材料与方法

2.1 仪器、试剂与材料

GCMS-TQ8040 气相色谱三重四级杆质谱联用仪(日本岛津公司); S300H 型超声清洗仪(德国 Elmasonic 公司); 电子分析天平(十万分之一, 德国赛多利斯公司); Milli-Q 超纯水机(美国 Milli-pore 公司); DV-B 紫外强度光照计(北京师范大学光电仪器厂)。

54 种脂肪酸甲酯标准品(纯度≥99.0%, 上海安谱实验科技公司)见表 1; 黄曲霉毒素 B₁ 标准溶液(aflatoxin, AFB₁, C₁₇H₁₂O₆, CAS 号:1162-65-8, 2 μg/mL, 国家标准物质中心); 甲醇、正庚烷(色谱纯, 默克股份有限公司); 异辛烷、正己烷、乙醚、无水硫酸钠、硫酸氢钠、氢氧化钾(AR, 国药集团化学试剂公司)。

花生油: 样本 1 至样本 6, 由企业提供。

2.2 溶液的配制

分别精密称取 54 个标准品 50.00 mg 置 10 mL 容量瓶中, 用正庚烷定容至刻度, 其浓度为 5.00 mg/mL, 作为标准储备液, 密封后置于-10 °C 以下冰箱, 有效期 3 个月。

2.3 样品前处理

精密称取样品 100 mg 于 25 mL 比色管中, 加入 5 mL 正己烷溶解试样, 振摇 2 min, 试样溶解后加入 0.5 mol/L KOH-甲醇溶液 0.5 mL, 摇匀, 40 °C 超声波处理 20 min; 加 5 mL 纯水于比色管中, 反复摇匀; 转移至离心管中, 在 25 °C 10000 r/min 离心 3 min; 吸取上层脂肪酸甲酯, 加入 2.0 g 无水硫酸钠干燥, 振摇混匀静置, 取上清液过 0.22 μm 有机相滤膜, 置于进样小瓶中进行 GC-MS 分析。

2.4 分析条件

色谱柱: TR-FAME(100 m×0.25 mm, 0.2 μm); 载气: 氦气(99.999%); 流速: 1.0 mL/min; 进样量: 1.0 μL, 分流比: 10:1; 进样口温度: 250 °C; 程序升温: 80 °C 保持 2 min, 以 30 °C/min 速率升温至 140 °C, 保持 1 min; 以 2 °C/min 速率升温至 240 °C, 保持 5 min; 离子源温度: 220 °C; 接口温度: 250 °C; 溶剂延迟: 5.5 min。

质谱条件: EI 电离方式; 采集方式, Q3 Scan; 质量扫描范围 m/z 40~450; 成分鉴定根据 GC-MS 检测所得到的质谱信息, 用质谱图计算机检索数据库 NIST14 数据库进行检索, 通过与标准谱图对照以及质谱碎片对峰的分析, 确定每一个组分的化学结构(简称: 标准质谱图库 NIST14 版)。

AFB₁ 含量测定按照 GB 5009.22-2016《食品安全国家标准食品中黄曲霉毒素 B 族和 G 族的测定》^[21]。

2.5 统计分析

以 SPSS 17.0 软件进行统计分析, 所有的数据以均数±标准差($\bar{x} \pm s$)表示, 两组数据间的比较采用 t 检验, $P < 0.05$ 为有显著性差异。

3 结果与分析

3.1 54 种脂肪酸定性和定量分析

定性分析方面,将 54 种脂肪酸标准品混合,将全扫描二维谱图中各峰点质谱图导入 NIST 谱库进行检索而实

现定性分析,对于谱图无法识别、相近的同分异构体则采用单一标准品进样的方式来进行判定。结果表明,54 种脂肪酸都得到了较好的分离,在色谱上无重组的现象(见表 1、图 1);定量分析方面,采用面积归一化法测定各脂肪酸的相对含量。

表 1 54 种脂肪酸的保留时间、分子量、定量离子和定性离子
Table 1 Retention time, molecular weight, quantitative ion and qualitative ion of 54 fatty acids

序号	化合组分	保留时间/min	分子量	定量离子(m/z)	定性离子(m/z)
1	丁酸甲酯	10.69	102.13	43	102,59,87
2	己酸甲酯	11.89	130.18	74	130,87,99
3	辛酸甲酯	13.73	158.24	74	158,115,55
4	癸酸甲酯	16.27	186.29	74	87,143,186
5	十一碳酸甲酯	17.92	200.3	74	87,200,157
6	2-辛炔酸甲酯	18.05	154.21	95	123,139,154
7	十二碳酸甲酯	19.87	214.34	74	171,214
8	十三碳酸甲酯	22.14	228.39	74	185,228
9	十四碳酸甲酯	24.70	242.40	74	199,242
10	顺-9-十四烯酸甲酯	26.25	241.38	55	208,240
11	十五碳酸甲酯	27.49	256.39	74	213,256
12	10-十五烯酸甲酯	29.18	255.39	55	222,254
13	十六碳酸甲酯	30.43	270.45	74	227,270
14	9-十六烯酸甲酯	31.26	268.43	55	236,268
15	反-9-十六烯酸甲酯	31.79	268.43	55	236,97,268
16	十七碳酸甲酯	33.45	284.50	74	241,284
17	10-十七烯酸甲酯	34.88	282.46	55	250,282
18	十八碳酸甲酯	36.50	298.50	74	255,298
19	顺-6-十八碳烯酸甲酯	37.08	296.48	55	222,264,296
20	9-十八烯酸甲酯	37.21	296.48	55	222,264,296
21	异油酸甲酯	37.40	296.5	55	222,264,296
22	反-6-十八碳烯酸甲酯	37.56	296.5	55	222,264,296
23	反-9-十八碳烯酸甲酯	37.71	296.49	55	222,264,296

续表 1

序号	化合组分	保留时间/min	分子量	定量离子(m/z)	定性离子(m/z)
24	反式十八碳烯酸甲酯	37.97	296.49	55	222,264,296
25	反亚油酸甲酯	38.54	294.48	67	294,263,95
26	反-10-顺-12-十八碳二烯酸甲酯	39.72	294.48	67	95,294,263
27	反-9, 12, 15-十八碳三烯酸甲酯	40.10	292.46	95	79,292,107
28	反 9, 12-顺-15 十八碳三烯酸甲酯	40.82	292.46	95	79,292,107
29	反 9 顺 12, 15 十八碳三烯酸甲酯	40.97	292.46	79	95,292,107
30	顺 9 反 12, 15 十八碳三烯酸甲酯	41.16	292.46	95	79,292,107
31	顺 9, 12 反 15 十八碳三烯酸甲酯	41.22	292.46	79	95,292,107
32	顺 9 反 12 顺 15 十八碳三烯酸甲酯	41.74	292.46	95	292,107,79
33	反-9-顺-12, 15-十八碳三烯酸甲酯	41.85	292.46	79	292,107,95
34	顺 9,12,15-十八碳三烯酯甲酯	42.24	292.46	79	292,263,95
35	γ -亚麻酸甲酯	41.08	292.48	79	261,292,93
36	亚麻酸甲酯	42.15	294.5	79	261,292
37	二十碳酸甲酯	42.49	326.60	74	283,326
38	亚油酸甲酯	43.28	294.48	67	294,263,95
39	顺-11-二十碳烯酸甲酯	43.20	324.54	55	324,292,69
40	反-11-二十碳烯酸甲酯	43.70	324.54	55	324,292,69
41	二十一碳酸甲酯	45.39	340.57	74	297,340
42	顺-11-14 二十碳二烯酸甲酯	45.71	322.53	67	291,322
43	顺-11.14-17 二十碳三烯酸甲酯	46.99	320.51	79	320,289,93
44	二十碳四烯酸甲酯	47.87	318.49	79	289,318
45	二十碳三烯酸甲酯	48.02	320.48	79	320,289,93
46	二十二碳酸甲酯	48.20	354.61	74	311,354
47	顺-13-二十二碳烯酸甲酯	48.93	352.59	55	320,352,97
48	反-13-二十二碳烯酸甲酯	49.41	352.59	55	320,352,97
49	二十碳五烯酸甲酯	50.25	316.48	79	287,316
50	二十三碳酸甲酯	50.95	368.64	74	325,368
51	顺-13-16-二十二碳二烯酸甲酯	51.37	350.57	81	319,350
52	二十四碳酸甲酯	53.57	382.66	74	339,382
53	顺-15-二十四碳烯酸甲酯	54.79	380.65	55	380,348,83
54	二十二碳六烯酸甲酯	56.82	342.51	79	105,342,313

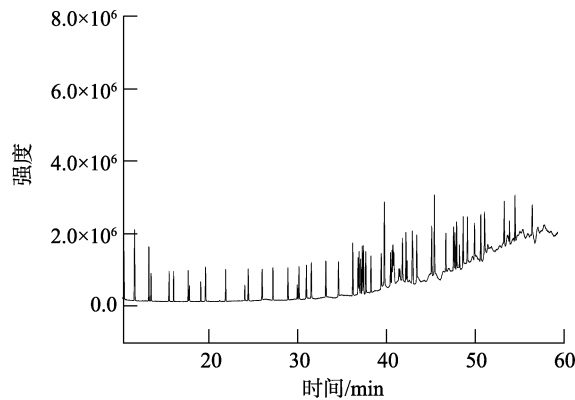


图 1 54 种脂肪酸甲酯的质谱图
Fig.1 Mass Spectrogram of the 54 aliphatic acid

3.2 花生油脂肪酸组成及含量的测定

以标准品的保留时间及质谱,对花生油中脂肪酸类别进行定性。按照“2.3”项下操作方法,将 6 批花生油样品(样品 1 至样品 6)进行甲酯化,再按照“2.4”色谱-质谱条件进行逐一进样测定。根据比对保留时间及质谱,确定花生油中脂肪酸化学成分,采用面积归一化法计算其含量及 RSD。该 6 个批次的花生油中主要含有 21 种脂肪酸,而不饱和脂肪酸占 67.51%,其中以亚油酸甲酯、反-9-十八烯酸甲酯、顺-11-二十碳烯酸甲酯占的比例较高;饱和脂肪酸占

32.49%,其中以十六碳酸甲酯、十八碳酸甲酯、二十二碳酸甲酯占的比例较高,见表 2、图 2。

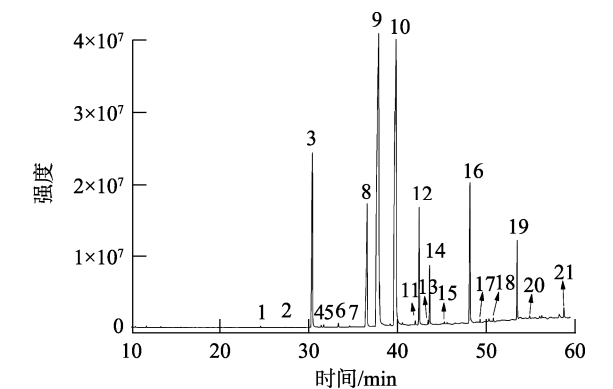
3.3 紫外 LED 冷光照射脱毒技术对花生油中脂肪酸组成的影响

3.3.1 紫外 LED 冷光照射时间对花生油中脂肪酸的影响
将 6 个样本花生油的不同脂肪酸含量置于 25 mL 玻璃比色管中,紧贴黄曲霉素降解机紫外灯,分别照射 10 s、30 s、45 s、1 min、2 min、5 min、10 min、20 min,取照射后的花生油,按照 2.3 将照射后花生油样品进行甲酯化,再按照 2.4 色谱-质谱条件进行测定,其脂肪酸平均含量变化见表 3。采用 GC-MS 测定不同 AFB₁ 含量的花生油在紫外 LED 冷光照射不同的时间后,其 AFB₁ 含量均有所降解,6 个样本经紫外 LED 冷光照射 2 min,降解率基本都达到 95%,且随着处理时间延长,其降解程度趋于平稳,经紫外 LED 冷光照射 2 min 后,其残留的 AFB₁ 含量均能达到国家标准要求的花生油中 AFB₁ 含量不超过 20 μg/kg 的要求。

3.3.2 紫外 LED 冷光照射强度对花生油中脂肪酸的影响
将脂肪酸含量不同的花生油置于 25 mL 玻璃比色管中,调节比色管与紫外灯之间的距离调节紫外光强度,同时放置紫外光照计测定紫外光的强度,强度分别 1850、1550、1250、950、750、450 μW/cm²,紫外灯照射 60 s 后停止照射,取照射后的花生油,按照 2.3 将照射后花生油样品进行甲酯化,再按照 2.4 色谱-质谱条件进行测定,其脂肪酸含量变化见表 4。

表 2 花生油中脂肪酸甲酯化合物名称及含量(n=3)
Table 2 Retention times, relative content of the 11 aliphatic acid in the peanut oil (n=3)

序号	化合物名称	保留时间/min	相对百分含量/%	RSD/%
1	十四碳酸甲酯	24.75	0.04	2.65
2	十五碳酸甲酯	27.54	0.01	3.18
3	十六碳酸甲酯	30.61	10.09	1.95
4	顺-9-十六烯酸甲酯	31.60	0.05	2.49
5	反-9-十六烯酸甲酯	31.88	0.07	3.24
6	十七碳酸甲酯	33.53	0.12	2.98
7	顺-10-十七烯酸甲酯	34.82	0.04	3.58
8	十八碳酸甲酯	36.79	7.95	2.08
9	反-9-十八烯酸甲酯	38.09	35.35	1.99
10	亚油酸甲酯((Z,Z)-9,12-十八碳二烯酸甲酯)	40.06	29.68	3.64
11	顺-9-顺-12-顺-15-十八碳三烯酸甲酯	42.22	0.13	4.31
12	二十碳酸甲酯	42.67	4.58	2.29
13	顺-5-二十碳烯酸甲酯	43.67	0.14	3.19
14	顺-11-二十碳烯酸甲酯	43.85	1.95	1.06
15	二十一碳酸甲酯	45.50	0.06	2.65
16	二十二碳酸甲酯	48.40	6.27	2.39
17	反-13-二十二碳烯酸甲酯	49.54	0.1	1.97
18	二十三碳酸甲酯	51.05	0.11	4.05
19	二十四碳酸甲酯	53.74	2.83	3.95
20	二十五碳酸甲酯	56.28	0.06	3.05
21	二十六碳酸甲酯	59.02	0.37	2.08



注: 1 十四碳酸甲酯; 2 十五碳酸甲酯; 3 十六碳酸甲酯; 4 顺-9-十六烯酸甲酯; 5 反-9-十六烯酸甲酯; 6 十七碳酸甲酯; 7 顺-10-十七烯酸甲酯; 8 十八碳酸甲酯; 9 反-9-十八烯酸甲酯; 10 亚油酸甲酯 ((Z,Z)-9,12-十八碳二烯酸甲酯); 11 顺-9-顺-12-顺-15-十八碳三烯酸甲酯; 12 二十碳酸甲酯; 13 顺-5-二十碳烯酸甲酯; 14 顺-11-二十碳烯酸甲酯; 15 二十一碳酸甲酯; 16 二十二碳酸甲酯; 17 反-13-二十二碳烯酸甲酯; 18 二十三碳酸甲酯; 19 二十四碳酸甲酯; 20 二十五碳酸甲酯; 21 二十六碳酸甲酯。

图 2 花生油中脂肪酸甲酯的谱图

Fig.2 Mass Spectrogram of the 11 aliphatic acid in the peanut oil

由表 3 和表 4 可知, 经紫外 LED 冷光照射对花生油处理后, 在照射时间因素的考察中, 大部分脂肪酸成分无显著差异($P>0.05$); 而在照射强度的考察中, 450~3500 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ 范围内, 仅有二十三碳酸甲酯在 450 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ 与其他强度处理

的结果存在显著差异($P<0.05$)。实验结果表明, 紫外 LED 冷光照射对花生油中脂肪酸组成影响较小。而在前期的研究中发现不同 AFB₁ 含量的花生油经不同照射强度下处理相同时间(2 min)或不同紫外光强度照射后, 其 AFB₁ 有不同程度的降解^[13]。因此, 将紫外 LED 冷光照射可以作为大生产除 AFB₁ 对油品的品质无显著影响。

3.4 紫外 LED 冷光脱毒技术对花生油中酸价、过氧化值的影响

酸价、过氧化值是影响花生油的品质 2 个重要评价指标。一是酸价, 其不仅是油脂稳定性的主要指标(酸价变高, 稳定性将变差), 同时酸价还作为酸败的指标, 高指标的酸价也对人体的健康产生损害; 二是过氧化值, 主要是作为油脂中不饱和脂肪酸等被氧化程度的指标, 即过氧化值越高其酸败就越厉害。

通过考察紫外 LED 冷光脱毒技术脱毒不同时间、不同的照射强度, 花生油中酸价、过氧化值的均无明显变化。研究结果表明, 使用紫外 LED 冷光照射脱毒 10 s 至 20 min 内, 两者的含量无显著性差异($P>0.05$)(见表 5、6); 使用 450~3500 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ 的紫外 LED 冷光照射, 也对两者的含量无显著性差异($P>0.05$)(见表 7、8)。因此, 采用紫外 LED 冷光脱毒技术进行降解花生油有致的黄曲霉毒素 B₁ 对花生油的品质是无影响的。

表 3 不同照射时间下的脂肪酸含量(n=6)
Table 3 Aliphatic acid content in the arachis oil under different irradiation time (n=6)

序号	化合物名称	不同照射时间下的脂肪酸含量/%							
		10 s	30 s	45 s	1 min	2 min	5 min	10 min	20 min
1	十四碳酸甲酯	0.05±0.002	0.05±0.002	0.05±0.002	0.06±0.002	0.05±0.003	0.05±0.003	0.05±0.002	0.05±0.002
2	十五碳酸甲酯	0.02±0.001	0.01±0.001	0.02±0.001	0.01±0.001	0.01±0.001	0.01±0.001	0.02±0.001	0.02±0.001
3	十六碳酸甲酯	11.3±0.12	11.29±0.17	11.26±0.18	11.34±0.10	11.27±0.19	11.25±0.10	11.19±0.15	11.18±0.14
4	顺-9-十六烯酸甲酯	0.08±0.001	0.07±0.001	0.07±0.001	0.09±0.001	0.07±0.001	0.07±0.001	0.07±0.001	0.07±0.001
5	反-9-十六烯酸甲酯	0.10±0.001	0.1±0.001	0.09±0.001	0.10±0.001	0.09±0.001	0.09±0.001	0.10±0.001	0.10±0.001
6	十七碳酸甲酯	0.18±0.003	0.16±0.003	0.16±0.003	0.18±0.003	0.17±0.003	0.17±0.003	0.16±0.003	0.17±0.003
7	顺-10-十七烯酸甲酯	0.06±0.001	0.06±0.001	0.06±0.001	0.06±0.001	0.06±0.001	0.06±0.001	0.05±0.001	0.06±0.001
8	十八碳酸甲酯	9.59±0.10	9.47±0.07	9.41±0.09	9.44±0.10	9.46±0.15	9.44±0.11	9.49±0.08	9.43±0.14
9	反-9-十八烯酸甲酯	34.30±0.16	34.44±0.76	34.56±0.72	34.50±0.68	34.48±0.30	34.48±0.30	34.40±0.30	34.40±0.30
10	亚油酸甲酯	27.80±0.11	27.85±0.11	27.85±0.11	27.79±0.11	27.86±0.11	27.84±0.11	27.85±0.11	27.81±0.11
11	顺-9-顺-12-顺-15-十八碳三烯酸甲酯	0.13±0.002	0.13±0.002	0.13±0.002	0.14±0.002	0.13±0.002	0.13±0.002	0.13±0.002	0.13±0.002
12	二十碳酸甲酯	4.54±0.11	4.54±0.10	4.50±0.10	4.51±0.11	4.50±0.11	4.51±0.11	4.54±0.11	4.45±0.11
13	顺-5-二十碳烯酸甲酯	0.14±0.002	0.14±0.002	0.13±0.002	0.15±0.002	0.14±0.002	0.14±0.002	0.14±0.002	0.14±0.002
14	顺-11-二十碳烯酸甲酯	1.94±0.007	1.91±0.007	1.90±0.007	1.88±0.007	1.91±0.007	1.90±0.007	1.92±0.007	1.90±0.007

续表 3

序号	化合物名称	不同照射时间下的脂肪酸含量/%							
		10 s	30 s	45 s	1 min	2 min	5 min	10 min	20 min
15	二十一碳酸甲酯	0.07±0.001	0.06±0.001	0.06±0.001	0.06±0.001	0.06±0.001	0.06±0.001	0.06±0.001	0.06±0.001
16	二十二碳酸甲酯	6.33±0.10	6.33±0.11	6.32±0.12	6.34±0.12	6.28±0.11	6.31±0.10	6.36±0.10	6.28±0.11
17	反-13- 二十二碳烯酸甲酯	0.11±0.002	0.10±0.002	0.10±0.002	0.10±0.002	0.10±0.002	0.10±0.002	0.10±0.002	0.10±0.002
18	二十三碳酸甲酯	0.11±0.002	0.11±0.002	0.11±0.002	0.11±0.002	0.11±0.002	0.11±0.002	0.12±0.002	0.11±0.002
19	二十四碳酸甲酯	2.78±0.009	2.77±0.009	2.78±0.009	2.74±0.009	2.73±0.009	2.74±0.009	2.74±0.009	2.68±0.009
20	二十五碳酸甲酯	0.07±0.001	0.06±0.001	0.07±0.001	0.11±0.001	0.07±0.001	0.06±0.001	0.07±0.001	0.07±0.001
21	二十六碳酸甲酯	0.38±0.003	0.35±0.003	0.37±0.003	0.39±0.003	0.35±0.003	0.36±0.003	0.38±0.003	0.35±0.003

表 4 不同照射强度下的脂肪酸含量(n=6)
Table 4 Aliphatic acid content in the arachis oil under different irradiation intensity (n=6)

序号	化合物名称	不同照射强度的脂肪酸含量/%					
		3 500 μW/cm ²	1 850 μW/cm ²	1 550 μW/cm ²	1 250 μW/cm ²	750 μW/cm ²	450 μW/cm ²
1	十四碳酸甲酯	0.05±0.002	0.06±0.002	0.06±0.002	0.06±0.002	0.05±0.002	0.06±0.002
2	十五碳酸甲酯	0.01±0.001	0.02±0.001	0.02±0.001	0.02±0.001	0.01±0.001	0.01±0.001
3	十六碳酸甲酯	11.52±0.13	11.49±0.10	11.54±0.13	11.32±0.10	11.60±0.17	11.53±0.16
4	顺-9-十六烯酸甲酯	0.07±0.001	0.06±0.001	0.06±0.001	0.06±0.001	0.07±0.001	0.07±0.001
5	反-9-十六烯酸甲酯	0.09±0.001	0.10±0.001	0.09±0.001	0.10±0.001	0.09±0.001	0.09±0.001
6	十七碳酸甲酯	0.17±0.003	0.17±0.003	0.16±0.003	0.16±0.003	0.17±0.003	0.17±0.003
7	顺-10-十七烯酸甲酯	0.06±0.001	0.06±0.001	0.06±0.001	0.06±0.001	0.05±0.001	0.06±0.001
8	十八碳酸甲酯	9.36±0.10	9.68±0.13	9.01±0.12	9.75±0.13	9.30±0.14	9.38±0.12
9	反-9-十八烯酸甲酯	34.74±0.21	34.20±0.17	34.50±0.19	34.59±0.22	34.67±0.20	33.97±0.10
10	亚油酸甲酯	27.79±0.17	27.59±0.15	28.09±0.12	27.55±0.11	28.01±0.13	28.00±0.21
11	顺-9-顺-12-顺-15- 十八碳三烯酸甲酯	0.14±0.002	0.13±0.002	0.13±0.002	0.13±0.002	0.12±0.002	0.13±0.002
12	二十碳酸甲酯	4.44±0.002	4.50±0.002	4.37±0.002	4.55±0.002	4.41±0.002	4.47±0.002
13	顺-5-二十碳烯酸甲酯	0.14±0.002	0.14±0.001	0.12±0.003	0.14±0.002	0.13±0.002	0.15±0.002
14	顺-11-二十碳烯酸甲酯	1.89±0.007	1.91±0.007	1.92±0.007	1.92±0.005	1.85±0.007	1.88±0.008
15	二十一碳酸甲酯	0.06±0.002	0.06±0.002	0.06±0.002	0.07±0.002	0.05±0.002	0.06±0.002

续表 4

序号	化合物名称	不同照射强度的脂肪酸含量/%					
		3 500 μW/cm ²	1 850 μW/cm ²	1 550 μW/cm ²	1 250 μW/cm ²	750 μW/cm ²	450 μW/cm ²
16	二十二碳酸甲酯	6.18±0.09	6.24±0.10	6.27±0.12	6.27±0.09	6.21±0.11	6.23±0.10
17	反-13-二十二碳烯酸甲酯	0.10±0.004	0.10±0.004	0.10±0.004	0.10±0.004	0.10±0.004	0.11±0.004
18	二十三碳酸甲酯	0.10±0.002	0.10±0.002	0.10±0.002	0.11±0.002	0.10±0.002	0.43±0.002ab
19	二十四碳酸甲酯	2.68±0.09	2.76±0.10	2.72±0.11	2.79±0.10	2.70±0.12	2.69±0.12
20	二十五碳酸甲酯	0.06±0.002	0.09±0.002	0.08±0.002	0.09±0.002	0.07±0.002	0.08±0.002
21	二十六碳酸甲酯	0.35±0.002	0.34±0.002	0.37±0.002	0.36±0.002	0.35±0.002	0.36±0.002

注: 相邻两组间比较 ^a *P*<0.05; 与照射 3 500 μW/cm² 组比较, ^b *P*<0.05。

表 5 紫外照射时间下花生油中酸价的变化(*n*=6)
Table 5 Changes of acid value in the arachis oil under different irradiation time (*n*=6)

样品	酸价/(mg/g)								
	初始含量	10 s	30 s	45 s	1 min	2 min	5 min	10 min	20 min
样品 1	1.91±0.08	1.90±0.08	1.89±0.08	1.91±0.08	1.91±0.08	1.90±0.08	1.91±0.08	1.90±0.08	1.91±0.08
样品 2	1.33±0.04	1.32±0.04	1.33±0.04	1.32±0.04	1.33±0.04	1.33±0.04	1.34±0.04	1.32±0.04	1.33±0.04
样品 3	12.25±0.10	12.23±0.10	12.21±0.10	12.25±0.10	12.25±0.10	12.24±0.10	12.23±0.10	12.21±0.10	12.24±0.10
样品 4	2.58±0.02	2.57±0.02	2.58±0.02	2.57±0.02	2.58±0.02	2.57±0.02	2.56±0.02	2.57±0.02	2.58±0.02
样品 5	0.46±0.02	0.46±0.02	0.45±0.02	0.46±0.02	0.45±0.02	0.46±0.02	0.46±0.02	0.46±0.02	0.45±0.02
样品 6	5.39±0.08	5.38±0.08	5.38±0.08	5.37±0.08	5.39±0.08	5.40±0.08	5.38±0.08	5.39±0.08	5.39±0.08

表 6 紫外照射时间下花生油中过氧化值的变化(*n*=6)
Table 6 Changes of Peroxide value in the arachis oil under different irradiation time (*n*=6)

样品	过氧化值/(mol/g)								
	初始含量	10 s	30 s	45 s	1 min	2 min	5 min	10 min	20 min
样品 1	0.41±0.02	0.40±0.02	0.41±0.02	0.41±0.02	0.40±0.02	0.41±0.02	0.40±0.02	0.40±0.02	0.40±0.02
样品 2	0.24±0.01	0.23±0.01	0.23±0.01	0.24±0.01	0.25±0.01	0.24±0.01	0.23±0.01	0.23±0.01	0.24±0.01
样品 3	0.16±0.01	0.15±0.01	0.16±0.01	0.15±0.01	0.16±0.01	0.15±0.01	0.15±0.01	0.16±0.01	0.16±0.01
样品 4	0.63±0.02	0.62±0.02	0.63±0.02	0.62±0.02	0.63±0.02	0.62±0.02	0.63±0.02	0.60±0.02	0.60±0.02
样品 5	1.45±0.07	1.44±0.07	1.45±0.07	1.43±0.07	1.45±0.07	1.43±0.07	1.45±0.07	1.42±0.07	1.41±0.07
样品 6	0.38±0.01	0.38±0.01	0.37±0.01	0.38±0.01	0.37±0.01	0.37±0.01	0.36±0.01	0.37±0.01	0.37±0.01

表 7 不同紫外照射强度下花生油中酸价的变化(n=6)
Table 7 Changes of acid value in the arachis oil under irradiation intensity (n=6)

样品	酸价/(mg/g)						
	初始含量	3 500 μW/cm ²	1 850 μW/cm ²	1 550 μW/cm ²	1 250 μW/cm ²	750 μW/cm ²	450 μW/cm ²
样品 1	1.91±0.08	1.90±0.08	1.89±0.08	1.88±0.08	1.89±0.08	1.89±0.08	1.90±0.08
样品 2	1.33±0.04	1.33±0.04	1.32±0.04	1.33±0.04	1.33±0.04	1.33±0.04	1.32±0.04
样品 3	12.25±0.10	12.24±0.10	12.23±0.10	12.21±0.10	12.24±0.10	12.23±0.10	12.24±0.10
样品 4	2.58±0.02	2.58±0.02	2.58±0.02	2.57±0.02	2.58±0.02	2.58±0.02	2.57±0.02
样品 5	0.46±0.02	0.46±0.02	0.46±0.02	0.46±0.02	0.45±0.02	0.46±0.02	0.46±0.02
样品 6	5.39±0.08	5.39±0.08	5.37±0.08	5.37±0.08	5.36±0.08	5.35±0.08	5.35±0.08

表 8 不同紫外照射强度下花生油中过氧化值的变化(n=6)
Table 8 Changes of Peroxide valu in the arachis oil under irradiation intensity (n=6)

样品	过氧化值/(mol/g)						
	初始含量	3 500 μW/cm ²	1 850 μW/cm ²	1 550 μW/cm ²	1 250 μW/cm ²	750 μW/cm ²	450 μW/cm ²
样品 1	0.41±0.02	0.39±0.03	0.38±0.03	0.38±0.03	0.39±0.03	0.40±0.03	0.39±0.03
样品 2	0.24±0.01	0.23±0.01	0.23±0.01	0.22±0.01	0.23±0.01	0.23±0.01	0.22±0.01
样品 3	0.16±0.01	0.15±0.01	0.15±0.01	0.16±0.01	0.15±0.01	0.15±0.01	0.15±0.01
样品 4	0.63±0.03	0.62±0.03	0.62±0.03	0.61±0.03	0.60±0.03	0.61±0.03	0.62±0.03
样品 5	1.45±0.08	1.44±0.08	1.43±0.08	1.42±0.08	1.44±0.08	1.45±0.08	1.44±0.08
样品 6	0.38±0.02	0.38±0.02	0.37±0.02	0.36±0.02	0.36±0.02	0.37±0.02	0.37±0.02

4 结 论

经紫外 LED 冷光技术处理的花生油, 其脂肪酸组成及含量变化,酸价和过氧化值的变化均无显著性差异(P>0.05), 对花生油的品质影响不大。在今后工作中, 需进一步研究紫外 LED 冷光照射后花生油的安全性评价及储藏期品质指标的跟踪测定。本文为简便、快速开展大量油

脂中脂肪酸的检测和为今后花生油加工企业的实际生产提供一定的参考。

参考文献

[1] 王洪健, 马静瑜, 蔡双福, 等. 紫外处理对黄曲霉毒素 B1 及花生油品质的影响[J]. 食品研究与开发, 2018, 39(15): 187-190.
Wang HJ, Ma JY, Cai SF, *et al.* Effects of ultraviolet treatment on aflatoxin

- B₁ and the quality of peanut oil [J]. *Food Res Dev*, 2018, 39(15): 187–190.
- [2] 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.
- [3] 贺冰, 毛劲, 张奇, 等. 利用紫外光降解花生油中黄曲霉毒素 B₁[J]. *食品安全质量检测学报*, 2016, 7(6): 2199–2204.
- He B, Mao J, Zhang Q, *et al.* Degradation of aflatoxin B₁ in peanut oil by ultraviolet irradiation [J]. *J Food Saf Qual*, 2016, 7(6): 2199–2204.
- [4] 梁剑锋, 李亚. 小油坊黄曲霉毒素 B₁ 紫外光降解技术模拟及脱毒效果研究[J]. *粮食与食品工业*, 2017, 24(4): 15–18.
- Liang JF, Li Y. Simulation of UV degradation of aflatoxin B₁ in small oil workshop and study on the effect of detoxification [J]. *Cereal Food Ind*, 2017, 24(4): 15–18.
- [5] 王洪健, 马静瑜, 蔡双福, 等. 紫外处理对黄曲霉毒素 B₁ 及花生油品质的影响[J]. *食品研究与开发*, 2018, 39(15): 187–190.
- Wang HJ, Ma JY, Cai SF, *et al.* Effects of ultraviolet treatment on aflatoxin B₁ and the quality of peanut oil [J]. *Food Res Dev*, 2018, 39(15): 187–190.
- [6] 任翠荣, 熊旭波, 王世清, 等. 常压等离子体降解黄曲霉毒素 B₁ 的效果研究[J]. *粮油食品科技*, 2017, 25(4): 64–69.
- Ren CR, Xiong XB, Wang SQ, *et al.* Degradation effect of atmospheric pressure plasma on aflatoxin B₁ [J]. *Oils Foods*, 2017, 25(4): 64–69.
- [7] 罗小虎, 王韧, 王莉, 等. 臭氧降解玉米中黄曲霉毒素 B₁ 效果及降解动力学研究[J]. *食品科学*, 2015, 36(15): 45–49.
- Luo XH, Wang R, Wang L, *et al.* Efficiency and kinetics of ozone degradation of aflatoxin B₁ in corn [J]. *Food Sci*, 2015, 36(15): 45–49.
- [8] 张岩, 王安妮, 肖军霞, 等. 低温射频等离子体降解乙腈中黄曲霉毒素 B₁ 的效果与途径分析[J]. *中国粮油学报*, 2015, 30(2): 80–86.
- Zhang Y, Wang AN, Xiao JX, *et al.* Effect and pathway analysis of aflatoxins B₁ in degradation of acetonitrile -dissolved by low temperature radio frequency plasma [J]. *J Chin Cere Oils Assoc*, 2015, 30(2): 80–86.
- [9] 刘真, 王世清, 肖军霞, 等. 等离子体降解花生中黄曲霉毒素的影响因素[J]. *粮油食品科技*, 2016, 24(5): 44–48.
- Liu Z, Wang SQ, Xiao JX, *et al.* Influence factors of the degradation of aflatoxin B₁ in peanut by plasma [J]. *Oils and Foods*, 2016, 24(5): 44–48.
- [10] 郑海燕, 魏帅, 郭波莉, 等. 挤压降解黄曲霉毒素 B₁ 的试验研究[J]. *中国食品学报*, 2016, 16(8): 118–124.
- Zheng HY, Wei S, Guo BL, *et al.* Effect of the extrusion on aflatoxin B₁ degradation [J]. *J Chin Instit Food Sci Technol*, 2016, 16(8): 118–124.
- [11] 罗小虎, 齐丽君, 房文苗, 等. 电子束辐照降解玉米中黄曲霉毒素 B₁ 及对玉米品质的影响[J]. *食品与机械*, 2016, 32(10): 111–114, 193.
- Luo XH, Qi LJ, Fang WM, *et al.* Effects of electron beam irradiation on the degradation of aflatoxins and the physicochemical properties of corn [J]. *Food Mach*, 2016, 32(10): 111–114, 193.
- [12] 丁爱凤, 包月红, 周建新, 等. 臭氧降解稻谷中不同黄曲霉毒素 B₁ 初始含量效果研究[J]. *食品工业科技*, 2015, 23: 72–74.
- Dind AF, Bao YH, Zhou JX, *et al.* Study on effects of ozone detoxification on different initial content of AFTB₁ in paddy [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2015, 23: 72–74.
- [13] 莫紫梅, 陈宁周, 宁芯, 等. 紫外 LED 冷光技术对花生油中黄曲霉毒素 B₁ 降解效果的研究[J]. *中国油脂*, 2019, 44(6): 83–88.
- Mo ZM, Chen NZ, Ning X, *et al.* Degradation of aflatoxin B₁ in peanut oil by ultraviolet LED cold-light technology [J]. *China Oils Fats*, 2019, 44(6): 83–88.
- [14] Siang GH, Makahleh A, Saad B, *et al.* Hollow fiber liquid-phase microextraction coupled with gas chromatography-flame ionization detection for the profiling of fatty acids in vegetable oils [J]. *J Chromatogr A*, 2010, 1217(52): 8073–8078.
- [15] 刘帅, 王爱武, 李美艳, 等. 脂肪酸甲酯化方法的研究进展[J]. *中国药房*, 2014, 25(37): 3535–3537.
- Liu S, Wang AW, Li MY, *et al.* Research progress on methods of fatty acid methyl ester [J]. *Chin Pharm*, 2014, 25(37): 3535–3537.
- [16] 李丽, 吴雪辉, 陈春兰. 调和油的配比对人类健康的影响[J]. *中国油脂*, 2008, 33(12): 7–12.
- Li L, Wu XH, Chen CL. Effect of blend oil with different fatty acid compositions on human health [J]. *Chin Oil Fats*, 2008, 33(12): 7–12.
- [17] 庄海旗, 刘江琴, 崔焱, 等. 广东湛江海域 8 种须鲷科鱼肌肉脂肪酸分析[J]. *食品科技*, 2018, 43(4): 319–322.
- Zhuang HQ, Liu JQ, Cui L, *et al.* Analysis of fatty acids in the muscle of 8 species of Goatfishes [J]. *Food Sci Technol*, 2018, 43(4): 319–322.
- [18] 吴琳. 液相色谱-质谱联用分离鉴定长链多不饱和脂肪酸甘油三酯[D]. 北京: 中国农业科学院, 2015.
- Wu L. Separation and identification of triacylglycerol containing long-chain polyunsaturated fatty acid by liquid chromatography coupled with mass spectrometry [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2015.
- [19] 盛孝杰. 牡丹籽油中脂肪酸的超高效液相色谱新分析方法研究[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2015.
- Sheng XJ. A new analysis method for fatty acids in peony seed oil by ultra performance liquid chromatography [D]. Changsha: Central South University of Forestry & Technology, 2015.

- [20] 蒋晓杰, 周旭, 杨志成, 等. 漫反射红外光谱法结合 PLS 测定稻谷脂肪酸值研究[J]. 中国粮油学报, 2019, 34(3): 78–81.

Jiang XJ, Zhou X, Yang ZC, *et al.* Determination of fatty acid value of paddy by diffuse reflectance infrared spectroscopy and PLS [J]. J Chin Cere Oils Assoc, 2019, 34(3): 78–81.

- [21] GB 5009.22-2016 食品安全国家标准 食品中黄曲霉毒素 B 族和 G 族的测定[S].

GB 5009.22-2016 National food safety standard-Determination of aflatoxin groups B and G in food [S].

作者简介

郑娟梅, 硕士, 主管药师, 主要研究方向为食品药品安全检测。
E-mail: 251862509@qq.com

李昌宝, 硕士, 副研究员, 主要研究方向为食品质量与安全。
E-mail: 330841759@qq.com。

(责任编辑: 韩晓红)

“茶学研究”专题征稿函

茶叶源于中国, 与咖啡、可可并称为世界三大饮料。茶叶可鲜食, 也可以加工精制备用, 具有降压、提神等多种保健功能, 且含有多种有机化学成分和无机矿物元素。国内外对茶叶市场需求稳定增长, 我国的茶产业增长潜力巨大, 茶已成为社会生活中不可缺少的健康饮品和精神饮品。

鉴于此, 本刊特别策划了“茶学研究”专题, 主要围绕茶叶的贮藏保鲜、精深加工、品质评价、生物化学和功能性成分、香气成分分析、污染物分析检测、茶树生长代谢、茶叶资源的质量标准化等方面展开论述和研究, 综述及研究论文均可。

本刊主编吴永宁研究员、专题主编肖文军教授及编辑部全体成员特别邀请您为本专题撰写稿件, 综述、研究论文、研究简报均可, 以期进一步提升该专题的学术质量和影响力。

本专题计划在 2020 年 7 月出版, 请在 2020 年 5 月 15 日前通过网站或 E-mail 投稿。我们将快速处理并经审稿合格后优先发表。

希望您能够通过各种途径宣传此专题, 并积极为本专题推荐稿件和约稿对象。

同时, 希望您能够推荐该领域的相关专家并提供电话和 E-mail。

感谢您的参与和支持!

投稿方式:

网站: www.chinafoodj.com(注明茶学研究专题)

E-mail: jfoodsq@126.com(注明茶学研究专题)

《食品安全质量检测学报》编辑部