

电子束辐照对桃仁和杏仁脂肪酸的影响研究

商飞飞^{1,2}, 陈云堂^{1*}, 范家霖¹, 李向东³, 谢玉花², 杨保安¹, 许勃¹, 董威杰¹, 崔龙¹

(1.河南省科学院同位素研究所有限责任公司, 河南省核农学重点实验室,

河南省辐照加工工程技术研究中心, 河南郑州 450015;

2.贺州学院, 食品科学与工程技术研究院, 广西贺州 548299;

3.河南省林业厅退耕办公室, 河南郑州 450015)

摘要:以杏仁和桃仁为原料,采用0、1、3、5、7 kGy剂量的电子束对样品进行辐照,分别于辐照后0个月、6个月分析杏仁、桃仁的粗脂肪、脂肪酸组成、酸价和过氧化值,研究电子束辐照对富油中药材脂肪酸的影响。结果表明:不同辐照剂量对粗脂肪含量几乎无影响;酸价、过氧化值随辐照剂量增加和贮藏时间延长均增加;脂肪酸组成随辐照剂量增加变化不明显,但随贮藏时间延长不饱和脂肪酸总体呈下降趋势,其中,桃仁贮藏6个月后0 kGy剂量山萘酸未检出,但辐照样品均有检出,桃仁中的亚麻酸辐照后均未检出。本研究可为富油中药材电子束辐照加工提供依据。

关键词:电子束辐照, 桃仁, 杏仁, 酸价, 过氧化值, 脂肪酸

Influence of electron beam irradiation on fatty acids of semen persicae and semen armeniacae

SHANG Fei-fei^{1,2}, CHEN Yun-tang^{1*}, FAN Jia-lin¹, LI Xiang-dong³, XIE Yu-hua², YANG Bao-an¹, XU Bo¹, DONG Wei-jie¹, CUI Long¹

(1.Isotope Institute Co., Ltd., Henan Academy of Science, Henan Key Laboratory of Nuclear Agriculture, Henan Province Irradiation Processing Engineering Technology Research Center, Zhengzhou 450015, China;

2.Hezhou university, Institute of food science and engineering technology, Hezhou 548299, China;

3.Office of Returning Farmland to Forest, Department of Forestry Henan Province, Zhengzhou 450015, China)

Abstract: The effects of electron beam irradiation were studied on traditional chinese medicines during oil-rich, with using Semen Armeniacae and Semen Persicae irradiated at 0, 1, 3, 5, 7 kGy by electron beam, respectively as raw material, analyzing crude fat, fatty acid value, acid value and peroxide value after 0 and 6 months, respectively. The results showed that the crude fat content was almost not affected by irradiation dose. With the irradiation dose and storage time increasing, acid value and peroxide value increased. Fatty acid value did not change significantly with the increase of irradiation dose. But unsaturated fatty acids declined in generally with the extension of storage time. Benhenic acid of 0 kGy dose was not detected after Semen Persicae six months, but was detected after irradiation. The linolenic acid in Semen Persicae after irradiation was checked out. This research could provide data support for electron beam irradiation curing of traditional chinese medicines during oil-rich.

Key words: electron beam irradiation; semen persicae; semen armeniacae; acid value; peroxide value; fatty acid

中图分类号: TS201.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2015)16-0319-05

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2015.16.056

γ 射线辐照用于中药材及中药饮片灭菌、杀虫由来已久, 由于其在杀虫、灭菌过程中不产生热, 很好地保留药效成分, 加之低碳高效, 因此在中药领域广

泛应用^[1]。近年来, 随着电子加速器设备生产技术的突破, 电子束辐照技术已成为新兴的辐照手段, 与 γ 射线相比电子束辐照加工具有安全、方便、无放射源

收稿日期: 2014-10-13

作者简介: 商飞飞(1986-), 男, 硕士研究生, 研究实习员, 研究方向: 农产品及食品辐照, E-mail: shangfeifei@163.com。

* 通讯作者: 陈云堂(1963-), 男, 本科, 研究员, 研究方向: 农产品及食品辐照加工, E-mail: chyt1015@163.com。

基金项目: 国家公益性行业(农业)科研专项(201103007); 河南省创新型科技人才队伍建设工程项目[豫科人事(2009)2号]; 河南省重点科技攻关计划(132102310271); 郑州市农产品质量安全辐照控制科技创新团队(141PCXTD511)。

污染、成本低等众多技术优点^[2]。因此,被国内外公认为是未来药材、农产(食)品辐照技术的主要应用方向,在中药材及饮片杀虫、防霉、降低有毒有害物质、提高卫生质量等方面具有广阔的应用前景。

杏仁、桃仁均为临床常用中药,成分相近、药理相通,但二者性味归经不同,杏仁镇咳平喘、降气化痰,桃仁行淤通经^[3]。两者脂肪含量均高达45%左右,且所含不饱和脂肪酸具有抗氧化、抗自由基、抗肿瘤、增强免疫、降低血清胆固醇的作用。但杏仁和桃仁在贮运过程中,容易发霉、生虫和泛油,由此导致品质降低和虫霉损失,辐照加工处理是解决该问题的有效手段。不同中药材对电子束辐照的耐受程度存在较大差别,分类研究并确定出适宜的最佳工艺剂量参数具有重要意义。本文重点针对杏仁和桃仁的脂肪酸变化,系统地研究了不同剂量电子束辐照以及贮藏时间对粗脂肪、脂肪酸组成、酸价和过氧化值的影响规律,为电子束辐照加工技术在杏仁桃仁合理贮藏中的应用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

杏仁、桃仁 2013年4月购自郑州市杓袁中药材市场的郑州永康药材行;PE复合包装袋 购于郑州万客来食品城。

7.5 MeV、5 kW电子直线加速器 由清华大学同方威视技术股份有限公司生产;电热恒温鼓风干燥箱 上海精宏实验设备有限公司;高速万能粉碎机 天津市泰斯特仪器有限公司;AL204分析天平 梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司;6890N气相色谱仪 配氢火焰离子检测器,美国安捷伦公司;HGA-2000空气发生器 北京汇龙昌海科贸公司。

1.2 实验方法

1.2.1 辐照处理 辐照功率0.5 kW,束下速率为134 mm/s。设0、1、3、5、7 kGy 5个不同的辐照剂量(用剂量片跟踪保证辐照效果),每个剂量3重复,每个样品400 g;样品采用PE复合袋进行热封口包装。

1.2.2 样品贮藏 常温干库储存(湿度35%左右),贮藏期间避免虫害和鼠害的危害,贮藏6个月进行分析测试。

1.2.3 粗脂肪及脂肪酸组成分析 委托农业部农产品质量监督检验测试中心(郑州)对辐照前后样品粗脂肪、脂肪酸组成、酸价、过氧化值含量的变化情况进行检测。

粗脂肪、脂肪酸组成、酸价、过氧化值的含量测定分别按GB/T 14772-2008、GB/T 17377-2008、GB/T 5009.37-2003、GB/T 5009.37-2003测定。

气相色谱条件:采用安捷伦DB-WAX非极性毛细管柱(30 m×0.32 mm×0.25 μm);氮气为载气,流速1 mL/min,尾吹30 mL/min,空气流速400 mL/min,氢气40 mL/min;进样量1 μL;进样口温度:240 ℃,检测器温度:260 ℃;三阶程序升温:初始温度90 ℃,以7 ℃/min升至190 ℃保持5 min,再以3 ℃/min升至215 ℃保持10 min,最后以20 ℃/min升至230 ℃保持5 min。

1.3 数据处理

采用SPSS16.0软件对实验数据进行处理和分析,采用Excel绘图。

2 结果与分析

2.1 电子束辐照对杏仁、桃仁粗脂肪含量的影响

由图1可知,杏仁和桃仁粗脂肪含量均比较高,分别在48%和44%左右,杏仁粗脂肪含量较桃仁高出约4%。0~7 kGy剂量辐照杏仁,其粗脂肪含量变化不大,在47.91%~49.32%之间,差异不显著;桃仁辐照后粗脂肪含量略有下降,0~7 kGy剂量辐照桃仁粗脂肪含量在44.15%~45.66%之间变化,其中1 kGy时含量最低但差异不显著;总之,两种富油中药材经辐照处理后粗脂肪含量变化不大。

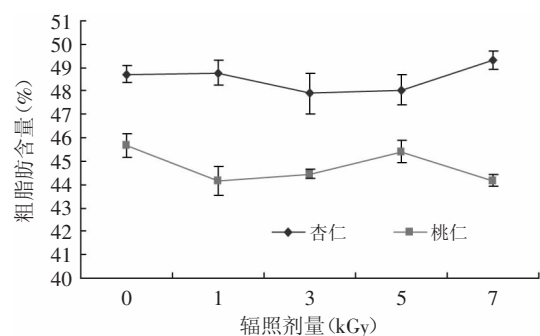


图1 不同电子束辐照剂量杏仁、桃仁脂肪含量变化
Fig.1 Effect of irradiation on fatty contents in almond and semen persicae

2.2 电子束辐照对杏仁、桃仁脂肪酸组成的影响

2.2.1 电子束辐照对杏仁脂肪酸的影响 不同贮藏时间、不同电子束辐照剂量处理杏仁的脂肪酸组成及变化见表1。杏仁脂肪酸主要由油酸、亚油酸、棕榈酸、硬脂酸组成;辐照后0个月四种主要脂肪酸略有变化,差异不显著;当贮藏6个月时不同辐照剂量间棕榈酸、硬脂酸无显著变化,但辐照组油酸所占百分比相对对照组明显增加,3 kGy剂量高出对照3.8%,其中1、3 kGy剂量差异均达到极显著水平($p < 0.01$);贮藏6个月,与对照组相比,辐照组亚油酸百分含量显著降低($p < 0.05$),其中3 kGy剂量最低;四种主要脂肪酸组成在贮藏后略有变化,其中棕榈酸、亚油酸百分含量增加,油酸降低。

辐照组花生酸百分含量较对照变化不大,与0个月相比,6个月时辐照组花生酸略有下降,不同辐射剂量间差异不显著;不同剂量辐照处理后和贮藏后二十碳一烯酸百分含量均下降,辐照5 kGy剂量下降趋势达到差异极显著($p < 0.01$),贮藏6个月各辐照剂量与对照组差异不明显;山萘酸、二十四碳酸百分含量随辐照剂量增加呈先下降后升高趋势,均在5 kGy剂量时含量最低,差异达到极显著水平,贮藏6个月时山萘酸辐照组较对照明显下降,差异显著($p < 0.05$);亚麻酸贮藏6个月,辐照组略有下降但差异不显著;花生酸、二十碳一烯酸、山萘酸在贮藏6个月后其百分含量较辐照后0个月均减少。

2.2.2 电子束辐照对桃仁脂肪酸的影响 不同贮藏

表1 不同辐照剂量、不同贮藏时间杏仁脂肪酸的变化
Table 1 Effect of irradiation and storage on fatty acid contents in almond

项目	贮藏时间	辐照剂量 (kGy)					变化趋势
		0	1	3	5	7	
棕榈酸含量 (%)	0个月	4.33 ^a	4.34 ^a	4.59 ^a	4.40 ^a	4.66 ^a	↑
	6个月	5.4 ^a	4.9 ^a	4.8 ^a	4.98 ^a	5.1 ^a	
硬脂酸含量 (%)	0个月	1.56 ^a	1.53 ^a	1.51 ^a	1.57 ^a	1.66 ^a	
	6个月	1.64 ^a	1.56 ^a	1.54 ^a	1.56 ^a	1.62 ^a	
油酸含量 (%)	0个月	70.20 ^a	70.40 ^a	70.80 ^a	70.00 ^a	69.30	↓
	6个月	65.6 ^b	68.4 ^{ab}	69.4 ^{ab}	67.5 ^{ab}	67.6 ^{ab}	
亚油酸含量 (%)	0个月	22.10 ^a	22.10 ^a	21.70 ^a	22.90 ^a	22.60 ^a	↑
	6个月	26.4 ^a	24.4 ^{bc}	23.4 ^c	25.2 ^b	24.8 ^b	
花生酸含量 (%)	0个月	0.34 ^{ab}	0.34 ^{ab}	0.30 ^b	0.28 ^b	0.40 ^a	↓
	6个月	0.29 ^a	0.24 ^a	0.26 ^a	0.26 ^a	0.27 ^a	
二十碳一烯酸含量 (%)	0个月	0.45 ^a	0.36 ^{bc}	0.34 ^{bc}	0.30 ^{cd}	0.40 ^{ab}	↓
	6个月	0.22 ^{ab}	0.18 ^b	0.22 ^{ab}	0.2 ^{ab}	0.23 ^a	
山嵛酸含量 (%)	0个月	0.56 ^a	0.57 ^a	0.46 ^b	0.36 ^{cd}	0.62 ^a	↓
	6个月	0.32 ^a	0.26 ^b	0.24 ^b	0.24 ^b	0.26 ^b	
二十四碳酸含量 (%)	0个月	0.34 ^{ab}	0.32 ^b	0.28 ^{bc}	0.22 ^{cd}	0.40 ^a	
	6个月	未检测	未检测	未检测	未检测	未检测	
亚麻酸含量 (%)	0个月	未检测	未检测	未检测	未检测	未检测	
	6个月	0.13 ^a	0.1 ^a	0.12 ^a	0.11 ^a	0.1 ^a	

注：同行肩标字母相异者表示差异显著 ($p < 0.05$)，肩标字母相同者表示差异不显著 ($p > 0.05$)；“*”表示差异极显著 ($p < 0.01$)；“↑”或“↓”表示同一辐照剂量贮藏6个月与0个月相比含量升高或降低；表2同。

表2 不同辐照剂量、不同贮藏时间桃仁脂肪酸的变化
Table 2 Effect of irradiation and storage on fatty acid contents in semen persicae

项目	贮藏时间	辐照剂量 (kGy)					变化趋势
		0	1	3	5	7	
棕榈酸	0个月	5.66 ^{ab}	5.98 ^a	5.96 ^a	5.43 ^b	5.40 ^b	↑
	6个月	6.6 ^a	5.73 ^b	6.26 ^{ab}	5.84 ^b	6.06 ^{ab}	
硬脂酸	0个月	1.94 ^a	2.06 ^a	2.20 ^a	1.94 ^a	2.00 ^a	
	6个月	1.95 ^a	2.13 ^a	2.04 ^a	2.00 ^a	2.06 ^a	
油酸	0个月	70.80 ^a	71.20 ^a	69.80 ^a	70.30 ^a	70.60 ^a	
	6个月	71.7 ^a	70.1 ^{ab}	68.8 ^b	70.3 ^{ab}	69.9 ^{ab}	
亚油酸	0个月	19.80 ^{ab}	19.10 ^b	20.20 ^{ab}	20.90 ^a	19.90 ^{ab}	↑
	6个月	19.7 ^b	21.3 ^{ab}	22 ^a	21.2 ^{ab}	21.2 ^{ab}	
花生酸	0个月	0.38 ^a	0.36 ^a	0.44 ^a	0.33 ^a	0.40 ^a	↓
	6个月	0.20 ^b	0.28 ^{ab}	0.36 ^a	0.26 ^{ab}	0.26 ^{ab}	
二十碳一烯酸	0个月	0.42 ^a	0.38 ^{ab}	0.38 ^{ab}	0.29 ^b	0.40 ^{ab}	↓
	6个月	0.23 ^a	0.16 ^a	0.18 ^a	0.17 ^a	0.18 ^a	
山嵛酸	0个月	0.60 ^{ab}	0.49 ^{ab}	0.64 ^a	0.40 ^b	0.58 ^{ab}	↓
	6个月	未检出	0.24	0.3	0.22	0.36	
二十四碳酸	0个月	0.38 ^a	0.30 ^{ab}	0.36 ^a	0.24 ^b	0.36 ^a	
	6个月	未检测	未检测	未检测	未检测	未检测	
亚麻酸	0个月	未检测	未检测	未检测	未检测	未检测	
	6个月	0.13	未检出	未检出	未检出	未检出	

时间、不同电子束辐照剂量处理桃仁其脂肪酸的组成及变化见表2。由表2可知，桃仁脂肪酸同样主要由油酸、亚油酸、棕榈酸、硬脂酸组成；辐照后0个月桃仁四种主要脂肪酸与对照组略有变化、差异不显著，当贮藏6个月时不同辐照剂量间硬脂酸无显著变化，

但辐照组亚油酸所占百分比比较对照组有明显增加，3 kGy剂量达到22%，达到差异显著水平 ($p < 0.05$)；在贮藏6个月辐照组油酸百分含量随辐照剂量增加呈下降趋势，其中3 kGy剂量最低，较对照差异显著 ($p < 0.05$)；四种主要脂肪酸组成在贮藏后略有变化，其中

棕榈酸、亚油酸百分比含量增加,油酸略有降低。

辐照后,辐照组花生酸百分含量较对照变化不大,但贮藏6个月时辐照组花生酸明显高于未辐照组,其中3 kGy辐照花生酸含量显著($p < 0.05$)高于未辐照组;辐照处理组贮藏后较未贮藏二十碳一烯酸百分含量均下降;辐照后5 kGy剂量组为0.29%较对照0.42%明显减少,差异显著($p < 0.05$);山萘酸辐照后5 kGy剂量组明显降低,贮藏6个月时对照组未检出山萘酸;亚麻酸贮藏6个月时,辐照组未检出亚麻酸,说明辐照后贮藏对桃仁亚麻酸有直接破坏作用,较杏仁明显;花生酸、二十碳一烯酸、山萘酸在贮藏6个月其含量所占百分比比较辐照后0个月均减少,与杏仁结果相似。

杏仁、桃仁是富含脂肪的中药材,脂肪含量占总质量的近一半,作为临床常用中药材,除药效成分外其中脂肪酸的生理功能也较为显著,尤其是不饱和脂肪酸的功能作用也越来越明显。因此在利用电子束辐照养护桃仁、杏仁时,也需要对两种药材脂肪酸组成进行了跟踪研究。本研究结果表明,辐照前后油酸百分含量略有下降,亚油酸含量增加;饱和脂肪酸百分含量增加,不饱和脂肪酸含量下降;说明辐照对脂肪酸的组成有一定的影响,但影响不大,不影响脂肪酸的生理功能。

2.3 电子束辐照对杏仁、桃仁酸价的影响

脂肪氧化为自由基链式反应,有氧环境能加速其氧化,能够产生羰基、过氧化物和还原化合物^[4]。这些变化对含脂肪较多的杏仁和桃仁的脂肪稳定性、脂肪酸的组成有影响。辐照产生的高能射线能够促进脂肪加速氧化,产生脱羧、脱氢、氢化、氧化等作用^[5],使得脂肪氧化更加不稳定。酸价能够反映游离脂肪酸含量,可直接作为酸败的指标;过氧化值可作为脂质氧化程度的参数,是不饱和脂肪酸中的双键与空气中的氧结合生成产物的量化指标,可用来表明脂质发生一级氧化的程度,因此对富有中药材的酸价和过氧化值进行测试研究。

由图2可知,未辐照杏仁贮藏前和贮藏半年后其酸价分别为7、11 mg/g,差异极显著($p < 0.01$),表明贮藏半年可明显地增加杏仁的酸价;辐照后0个月,辐照组杏仁酸价均有不同程度的增加,其中1 kGy剂量组较对照差异不显著,3、5、7 kGy剂量组较对照均显著($p < 0.05$)增加;贮藏6个月后,3、5、7 kGy辐照组酸价均低于各对应贮藏0个月时的酸价,其中5 kGy剂量组贮藏6个月时只有8.5 mg/kg,有利于延缓贮藏过程中杏仁的氧化变质。

由图2可知,桃仁酸价在辐照后0个月时各剂量组间变化不大,差异不显著;各剂量组桃仁酸价在贮藏6个月时均高于0个月的酸价,其中0、1、5、7 kGy剂量组达到差异显著水平($p < 0.05$),只有3 kGy贮藏6个月时略有增加但差异不显著;综上可知,3 kGy可以作为杏仁桃仁的最佳辐照剂量。

本研究结果表明,辐照后的杏仁贮藏期间酸价增加较慢,而且适当的剂量能够使杏仁酸价不增反降,如3、5、7 kGy剂量辐照杏仁贮藏半年后杏仁酸价

较对应剂量(辐照后0个月时)均有不同程度的降低,5 kGy时只有8.5 mg/g,表明贮藏过程中适当电子束辐照剂量对延缓杏仁脂肪的氧化有一定作用。陈银基等^[6]采用3 kGy剂量 γ 射线处理牛肉肌内脂肪酸效果有促进作用。桃仁的研究结果表明,贮藏时间与辐照能够使桃仁酸价增高,与多数文献^[4,6]资料相吻合。

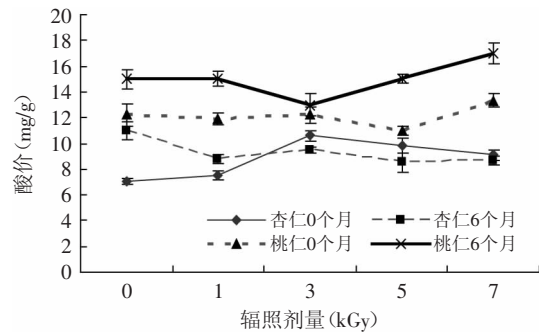


图2 不同电子束辐照剂量和贮藏时间杏仁、桃仁酸价的变化
Fig.2 Effect of irradiation and storage on AV contents in almond and semen persicae

2.4 电子束辐照对杏仁、桃仁过氧化值的影响

由图3可知,贮藏0个月时,杏仁过氧化值随辐照剂量增加呈先升高后降低的趋势,5 kGy剂量组最高,为0.033 g/100g;贮藏6个月时,0、1 kGy过氧化值较0个月时略有升高,但3、5、7 kGy过氧化值则迅速增加,因此可知杏仁在贮藏时间过氧化值受剂量影响较大。各剂量组桃仁过氧化值在贮藏6个月时均高于0个月时,与其酸价的变化趋势相似。由于过氧化值较低,远低于国标0.38 g/100g的值^[7],符合卫生标准的要求,但是其酸价较高,足以表明桃仁杏仁已经发生氧化,可能是由于原材料在选择时已经发生氧化酸败所致;程静等^[8]在油脂贮藏过程中过氧化值的变化因素研究中表明过氧化值在氧化酸败初期呈正增长,在氧化后期由于过氧化物进一步氧化分解为低分子的醛酮,过氧化值反而会降低,这可能是桃仁杏仁过氧化值处于较低水平的主要原因。因此,可不考虑辐照对杏仁桃仁过氧化值的影响。

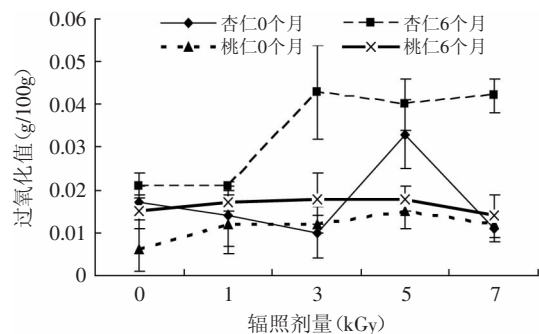


图3 不同电子束辐照剂量和贮藏时间杏仁、桃仁过氧化值的变化
Fig.3 Effect of irradiation and storage on POV contents in almond and semen persicae

3 结论

电子束辐照对桃仁和杏仁脂肪酸组成影响不

大;电子束不同剂量辐照处理对桃仁和杏仁粗脂肪含量影响不大,差异不明显;辐照后脂肪酸的组成变化不显著,但随贮藏时间延长不饱和脂肪酸总体呈下降趋势,饱和脂肪酸百分含量增加;油酸百分含量略有下降,亚油酸含量有所增加;酸价、过氧化值随辐照剂量增加和贮藏时间延长均增加;辐照后的杏仁贮藏期间酸价增加较慢,而且适当的剂量能够让杏仁酸价不增反降,有利于延缓贮藏过程中桃仁、杏仁酸价的增加;电子束辐照剂量3 kGy时对杏仁贮藏期间的酸价有抑制作用,桃仁酸价在3 kGy时最低。在使用电子束辐照养护时,建议将3 kGy辐照剂量作为杏仁、桃仁的最佳辐照工艺剂量。

参考文献

[1] 刘琼英, 邝炎华, 邓志群, 等. ^{60}Co - γ 射线辐照中药材杀虫灭

菌效果及主要有效成分变化的研究[J]. 华南农业大学学报, 1990, 11(3):76-84.

[2] 张莹, 朱加进. 电子束辐照技术及其在食品工业中的应用研究[J]. 食品与机械, 2013, 29(1):236-239.

[3] 王道芳. 浅述桃仁与苦杏仁的药理及临床应用[J]. 基层中药杂志, 2002, 16(6):61-62.

[4] 程安玮, 张奇志, 王守经, 等. 抗氧化剂对辐照花生脂肪酸含量及过氧化值的影响[J]. 核农学报, 2011, 25(1):93-96.

[5] Brewer M S. Irradiation effects on meat flavor: a review[J]. Meat science, 2009, 81:1-14.

[6] 陈银基, 周光宏, 鞠兴荣. 低剂量 γ 辐照对牛肉肌肉脂肪酸组成及牛肉质量的影响[J]. 食品科学, 2008, 29(7):81-85.

[7] GB 19300-2003, 烘炒食品卫生标准[s].

[8] 程静, 马文红. 浅谈油脂储藏过程中影响过氧化值变化的因素[J]. 粮食与食品工业, 2010, 17(6):18-20.

(上接第312页)

高。由图18可知,经丰度值计算后可知橙色素组分红斑素峰面积相对减少了约71%,与原始菌体粉末样品中的含量比较相对减少了86%。由于相同提取及分离条件下,被测组分的峰面积与含量之间存在一定正相关,因此本实验采用相对定量法分析比较色素组分分离前后相对峰面积变化从而验证纯化效果,结果证明本实验所得硅胶柱层析纯化红曲黄色素方法可行,得到的黄色素产品较纯,具有一定的实际应用价值。

3 结论

硅胶柱层析法得到最佳分离条件为:最佳洗脱剂配比为正己烷:乙酸乙酯(v/v)=1:8;最佳上样量为1.5 mL;最佳流速为50 mL/h。液相质谱ESI⁺离子源提取检测到三种色素组分红斑素、红曲素、红斑素,经液相色谱及一级质谱图分析证实与文献报道一致。分别考察红曲黄色素组分在菌体粉末、黄色素粗提物、纯化后样品的相对峰面积含量,采用相对定量法验证了红曲黄色素组分的纯化保存率达到了85%,红色素组分经正己烷提取已基本去除89%,橙色素组分经正己烷提取及柱层析分离后去除86%。由此验证了本实验的分离纯化方法具有明显效果,柱层析法粗分红曲黄色素基本满足了工业化生产需要的快速、高效、便捷等硬性需求,本实验通过优化分离条件来提高红曲黄色素组分的纯化效果,效果显著,可进一步研究并扩展应用于工业化之中。

参考文献

[1] 陈小林. 红曲菌液态发酵产Monacolin K和红曲色素之研究[D]. 杭州:浙江工业大学, 2007.

[2] 石文娟. 红曲色素高产菌株的高通量选育[D]. 上海:华东理工大学, 2012.

[3] 王金宇, 董文宾, 杨春红, 等. 红曲色素的研究及应用新进展[J]. 食品科技, 2010, 35(1):245-248.

[4] 屈炯. 红曲色素组分分离及其功能的初步研究[D]. 武汉:

华中农业大学, 2008.

[5] Zheng Y Q, Guo Y H. Study on the pigment metabolites produced by *Monascus sp.* MFL06[J]. Journal of Biotechnology, 2008, 136(S):515.

[6] Silveira T S. Pigment production by *Monascus purpureus* in grape waste using factorial design[J]. LWT-Food Science and Technology, 2008, 41(1):170-174.

[7] Broder C U. Pigments produced by *Monascus purpureus* with regard to quality and Quantity[J]. Journal of Food Science, 1980, 45(3):567-569.

[8] 周波, 王菊芳, 吴振强, 等. 高产红曲黄色素菌株的选育[J]. 微生物学通报, 2008, 35(12):1909-1914.

[9] 赵燕, 温辉梁, 胡晓波. 红曲色素及其在食品工业中的应用[J]. 江西食品工业, 2004(3):28-30.

[10] Fabre C E, Santerre A L, Loret M O, et al. Production and Food Applications of the Red Pigments of *Monascus ruber*[J]. Journal of Food Science, 1993, 58(5):1-5.

[11] 张慧娟, 陶冠军, 陈蕴, 等. 红曲色素的制备及HPLC和LC/MS检测方法[J]. 食品研究开发, 2006(4):112-115.

[12] 屈炯. 红曲色素组分分离及其功能的初步研究[D]. 武汉:华中农业大学, 2008.

[13] Mukherjee G, Singh S K. Purification and characterization of a new red pigment from *Monascus purpureus* in submerged fermentation[J]. Process Biochemistry, 2011, 46(1):188-192.

[14] 钱敏, 梁彬霞. 红曲色素提取及分离纯化研究[J]. 中国调味品, 2012, 37(3):17-21.

[15] 徐伟, 范志诚, 马思慧. 柱层析分离红曲色素及其组分的抑菌性对比[J]. 酿酒, 2010, 37(6):49-52.

[16] 李明起. 红曲色素的制备、分离及黄色素结构表征[D]. 武汉:武汉工业学院, 2011.

[17] 代春华, 邓思珊, 甘纯玢. 红曲黄色素的分离、纯化及光稳定性探讨[J]. 中国食品学报, 2004, 4(3):66-70.

[18] 殷军帅. 红曲色素和功能性红曲的菌种选育和生产工艺的优化[D]. 泰安:山东农业大学, 2012.