

大豆油煎炸过程中极性组分及苯并(a)芘含量变化研究

马利杰¹, 蔡佳琦², 陈霄¹ (1. 开封市食品药品检验所, 河南开封 475000; 2. 河南大学药学院, 河南开封 475000)

摘要 [目的]掌握煎炸过程中大豆油的极性组分及苯并(a)芘污染物含量的变化规律。[方法]在 190 ℃ 对含抗氧化剂特丁基对苯二酚(TBHQ)的大豆油进行连续煎炸试验, 连续煎炸 14 h, 分别在煎炸 0、0.5、1、2、4、6、8、10、12、14 h 时取样, 测定煎炸油中的酸价、极性组分、苯并(a)芘这 3 个检测指标并进行分析。[结果]在煎炸过程中, 酸价随煎炸时间延长而逐渐升高; 极性组分随着煎炸时间的延长, 上升趋势逐渐加快; 而苯并(a)芘浓度先升高, 然后稍有下降, 之后又继续升高, 整个煎炸过程中苯并(a)芘浓度总体呈上升趋势。[结论]该研究为煎炸店选择适当的煎炸时间, 最大程度减轻煎炸油对人体的损害提供了理论依据。

关键词 煎炸油; 酸价; 极性组分; 苯并(a)芘

中图分类号 TS 201.6 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2020)17-0182-03

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2020.17.047



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

The Content Changes of Polar Component and Benzo(a)Pyrene of Soybean Oil during Frying

MA Li-jie¹, CAI Jia-qi², CHEN Xiao¹ (1. Kaifeng Food and Drug Inspection Institute, Kaifeng, Henan 475000; 2. Henan University Food Safety and Inspection, Kaifeng, Henan 475000)

Abstract [Objective] In order to investigate the changes of polar components and benzo(a)pyrene(BAP) pollutants in soybean oil during frying. [Method] In this experiment, the soybean oil with antioxidant tetrabutyl hydroquinone (TBHQ) was continuously fried at 190 ℃ for 14 h and their quality including acid value, polar component contents, and BAP were measured at 0, 0.5, 1, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14 h, respectively. [Result] During the frying process, the acid value increased with time; the polar component gradually increased with the extension of frying time; the concentration of BAP increased firstly with the extension of frying time, then decreased slightly, and then continued to rise. The concentration of BAP in the whole frying process was generally increasing. [Conclusion] Through this experiment, it provided a theoretical basis for the frying shop to choose an appropriate frying time and reduce the damage of frying oil to human body to the greatest extent.

Key words Frying oil; Acid value; Polar component; BAP

近几年,国家在食用油的抽检检测方面投入了大量的人力、物力、财力和精力,结合食用油的加工工艺、既往监管情况和健康危害程度等因素,我国把食用油列为高风险等级食品进行监管^[1]。

通常,油脂在高温加热过程中,可以与氧气、水分等成分发生一系列的热水解、热氧化和热聚合等化学反应^[2],反应产物会在油中不断积累,进而影响其食用品质。酸价是判断植物油中游离脂肪酸含量的重要指标^[3],也是判断油脂劣变程度的重要指标之一;而以甘油三酯等聚合物为主的极性组分会诱导细胞凋亡,在体内累积后,会损伤脏器组织,严重影响脏器指数、肝肾功能指标等^[4];苯并(α)芘作为多环芳烃中的一种典型代表,英文缩写为 BAP,是一种常见的高活性间接致癌物和突变原^[5],并且是测定植物油中多环芳烃的指标化合物之一,它的致癌性在多环芳烃中较强,是难降解且有极强三致作用的有毒有害化合物,普遍存在于环境和日常食用的各类食品中,煎炸食品中苯并(α)芘含量尤其高。

根据每年的抽检监测情况发现,大豆油因价格低廉,是我国常见煎炸用油之一,不仅在家庭中普遍使用,在企业和商贩中也普遍使用。但是部分厂家及商贩为了降低成本,会将煎炸油进行长期多次反复煎炸,更有一部分商家会购买非正规加工处理过后的油进行煎炸。已有研究表明,植物油煎炸不同的食材时,油脂的色泽、酸价、极性组分均会有不同的变化。并且受到植物油种类、煎炸时间、煎炸温度、抗氧化剂

的影响,植物油的理化成分及苯并(α)芘浓度也有不同的变化^[6-7]。笔者根据往年的抽样情况,在中小学校门口煎炸食品店选取了一种常用油——含抗氧化剂的大豆油,同时根据店铺每天的最长营业时间(14 h)和最畅销的煎炸食品(炸鸡柳)来进行试验,以探寻此种大豆油煎炸过程中品质的变化规律,并给煎炸店提供用油参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂 一级大豆油[含食品添加剂——特丁基对苯二酚(TBHQ)];苯并(α)芘标准溶液(来源于农业部环境保护科研监测所,批号:SB05-194-2008,含量:20 μg/mL);苯并(α)芘分子印迹柱(500 mg/6 mL);乙腈、二氯甲烷、正己烷、异丙醇为色谱纯;氢氧化钾、无水乙醇、冰醋酸等试剂为分析纯。

1.2 仪器与设备 高效液相色谱仪(thermo uv2600);旋涡振荡器;HH-S 数显恒温水浴锅;煎炸锅,南京乐创厨房设备有限公司;HX203T 电子天平;DZF-6051 真空干燥箱;薄层色谱层析缸;玻璃层析柱;250 mL 锥形瓶;碱式滴定管;量筒;容量瓶。

1.3 样品采集与制备 先将购买的鸡胸肉洗净,沥干晾水后,切成 1 cm 厚度的长条,裹上蛋液,再用面包糠依次裹满所有的鸡胸肉,待下锅。在电炸锅中先将大豆油加热至 190 ℃,然后依次放入准备好的鸡胸肉,煎炸至鸡肉表面金黄并浮出油面后,捞出并沥油晾干。期间间隔 20 min 进行下一次煎炸,按料油 1:30 进行投料,期间不添加新油。先取 100 mL 新油为一个样品,再分别在煎炸开始后 0.5、1、2、4、6、8、10、12、14 h 时进行取样,每次取 100 mL。

基金项目 河南省市场监督管理局科技计划项目(2020sj50)。

作者简介 马利杰(1987—),女,河南开封人,助理工程师,硕士,从事食品安全与检验研究。

收稿日期 2020-03-15;修回日期 2020-04-27

1.4 方法 根据《国家食品安全监督抽检实施细则(2019年版)》指定的检验方法^[8] GB 5009 系列进行检测;酸价:参照 GB 5009.229—2016《食品安全国家标准 食品中酸价的测定》;极性组分:参照 GB 5009.202—2016《食品安全国家标准 食用油中极性组分(C)的测定》;苯并(α)芘:参照 GB 5009.27—2016《食品安全国家标准 食品中苯并(a)芘的测定》。

2 结果与分析

2.1 煎炸时间对酸价的影响 在不同时间段,取煎炸油样品,采用冷溶剂指示剂滴定法进行滴定,最后得到不同时段油样的酸价平均值(表1)。

表1 不同时间煎炸油样品的酸价

Table 1 Acid value of frying oil at different time

序号 No.	取样时间 Sampling time/h	平均值 Average/(mg/g)
1	0	0.13
2	0.5	0.16
3	1	0.20
4	2	0.28
5	4	0.33
6	6	0.42
7	8	0.46
8	10	0.62
9	12	0.71
10	14	0.90

酸价是煎炸过程中品质劣变的重要指标。在煎炸的前4 h内,添加了TBHQ的大豆油,酸价上升程度比较缓慢,4 h后继续煎炸,则油脂酸价上升趋势加快,但至14 h时煎炸结束,酸价只有0.90 mg/g,远低于国家标准规定的5 mg/g,且平均增长速度为0.055 mg/(g·h),增速缓慢。

此种现象与于文秀等^[9]在不同抗氧化剂对调和油煎炸性能影响的研究中发现,添加了TBHQ的调和油酸值较低,且在煎炸的前6 h,调和油的酸值基本未发生变化,而6 h后,酸值逐步升高,并且与未添加抗氧化剂的调和油相比,酸价更低。卢庭明^[3]在研究抗氧化剂对方便面煎炸棕榈油品质的影响时发现,添加了抗氧化剂后,棕榈油的酸价在未煎炸前和煎炸初期无显著差异。但从煎炸第3天起,油脂酸价开始有较大幅度提高,此时二者差异逐渐明显,添加了抗氧化剂的棕榈油酸价值明显小于未添加抗氧化剂。在植物油中添加抗氧化剂,在煎炸一段时间后,可以明显抑制酸价的上升速度,但不能阻止。

2.2 煎炸时间对极性组分的影响 在不同时间段,取煎炸油样品,通过柱层析法,最后得到不同时段油样的极性组分平均值(表2)。

煎炸油中极性物质含量的变化是评价煎炸过程中油脂品质退变的最可靠指标^[10]。前4 h极性组分增长速度较为平缓,4 h后,增长趋势明显加快,整个过程随着煎炸时间的延长,大豆油中极性组分显著增长,且增长趋势逐渐增大。到14 h时,极性组分含量为14.6%,未超过国家规定限值27%,但平均每小时增长速度高达0.871%,如果将大豆油继续加热并煎炸食物,则极有可能很快超过规定限制。

表2 不同时间煎炸油样品的极性组分

Table 2 Polar components of frying oil at different time

序号 No.	取样时间 Sampling time/h	平均值 Average/%
1	0	2.4
2	0.5	3.2
3	1	4.3
4	2	4.8
5	4	5.5
6	6	6.4
7	8	7.7
8	10	9.8
9	12	12.5
10	14	14.6

大豆油中极性组分随时间延长而增大。卫星华等^[10]试验发现,单不饱和脂肪酸的含量对植物油中极性组分有较大影响,且不同种类植物油的极性组分均随时间延长而增大相同,这与此次试验结果基本一致。可能是由于植物油主要成分为脂肪,脂肪酸决定了脂肪的主要性质和特点,单不饱和脂肪酸更容易被氧化,所以植物油中单不饱和脂肪酸含量越高,高温煎炸过程中油脂氧化程度越大,极性组分含量越多。安柯静等^[11]比较了菜籽油、葵花籽油和花生油煎炸后极性组分含量,发现含不饱和脂肪酸亚油酸含量更高的葵花籽油极性组分含量增幅最大,油脂不饱和程度相对较低的菜籽油增幅最慢。这个结论也验证了不饱和脂肪酸含量越高,则煎炸油中极性组分含量越高这一观点。大豆油含丰富的不饱和脂肪酸——亚油酸,因此随着煎炸时间延长,大豆油中的极性组分会逐渐增大,且增幅较大。

煎炸油的极性组分总体呈上升趋势,随着时间延长增长程度逐渐增大。于文秀等^[9]发现在煎炸初期的16 h内,添加TBHQ的调和油的极性组分增量明显高于未添加抗氧化剂的调和油。但整个煎炸过程中,添加抗氧化剂对抑制极性组分含量升高似乎没有表现出明显优势。因此,此次大豆油煎炸过程中,随时间延长,极性组分增长趋势逐渐增大,抗氧化剂没有起到较大作用。

2.3 苯并(α)芘浓度与煎炸时间的关系

2.3.1 苯并(α)芘标准曲线。使用高效液相色谱仪,测定苯并(α)芘标准工作液相应的色谱峰。将标准工作液1(1.0 ng/mL)分别注入液相色谱仪10、20、30 μL,将标准工作液2(2.0 ng/mL)分别注入液相色谱仪20、30、40、50、70 μL(表3),测定相应的色谱峰。

表3 苯并(α)芘标准品进样质量与峰面积

Table 3 Quality and peak area of BAP standard sample

浓度 Concentration ng/mL	进样体积 Injection volumn/μL	质量 Quality ×10 ⁻³ ng	峰面积 Peak area
1.0	10	10	19 590.365
	20	20	38 952.180
	30	30	50 709.843
2.0	20	40	70 946.186
	30	60	106 643.054
	40	80	141 015.005
	50	100	178 137.773

以标准系列工作液的进样质量(1×10^{-3} ng)为横坐标(x),峰面积为纵坐标(y),绘制标准曲线,得到进样质量与峰面积的线性方程,其 R^2 为0.999 0,标准曲线为图1。其中检出限为0.3 $\mu\text{g/kg}$,定量限为0.5 $\mu\text{g/kg}$,回收率为98.5%。

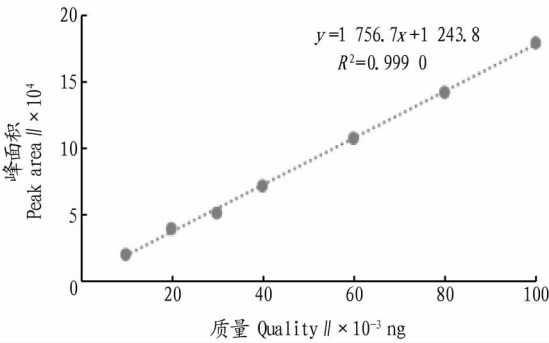


图1 苯并(α)芘标准曲线
Fig. 1 BAP standard curve

2.3.2 煎炸时间对苯并(α)芘浓度的影响。在不同时间段,取煎炸油样品,通过苯并(α)芘分子印迹柱洗脱净化处理后,上机测定,最后得到不同时段油样的苯并(α)芘平均浓度(表4)。

表4 不同时间煎炸油样品的苯并(α)芘浓度

Table 4 BAP concentration of frying oil at different time

序号 No.	取样时间 Sampling time// h	平均值 Average// $\mu\text{g/kg}$
1	0	2.103
2	0.5	3.643
3	1	5.663
4	2	7.281
5	4	5.412
6	6	6.322
7	8	6.327
8	10	6.082
9	12	7.564
10	14	8.792

原油中苯并(α)芘初始浓度较高,加热1 h后,苯并(α)芘浓度直线升高,但2 h后,随着煎炸继续,油中苯并(α)芘浓度急剧下降,但随着煎炸时间继续延长,苯并(α)芘浓度逐渐缓慢上升,并在累计加热6 h后缓慢下降。煎炸10 h后,植物油中苯并(α)芘浓度开始急剧升高。随着煎炸时间的延长,此种大豆油中苯并(α)芘的浓度总体呈上升趋势,平均增长速度为0.477 $\mu\text{g}/(\text{kg}\cdot\text{h})$ 。煎炸14 h后,大豆油中苯并(α)芘浓度为8.792 $\mu\text{g/kg}$,小于国家规定的植物油的苯并(α)芘浓度限值,但无论是原油中还是最后煎炸结束时大豆油中苯并(α)芘浓度都大于欧盟国家限值2 $\mu\text{g/kg}$ 。

由表4可知,煎炸一定时间后,大豆油中苯并(α)芘浓度会有下降趋势,然后继续升高。赵昕^[12]在研究中发现,大豆油(不含抗氧化剂)在高温加热条件下,苯并(α)芘浓度总体呈上升趋势,加热一段时间后,苯并(α)芘浓度会下降一些,并且在260 $^{\circ}\text{C}$ 加热条件下,苯并(α)芘浓度反而比180、220 $^{\circ}\text{C}$ 时低。由此可看出,大豆油中苯并(α)芘浓度与温度

有极大关系。这可能与苯并(α)芘挥发及挥发速度有关,苯并(α)芘为小分子化合物,易与油烟中的微粒形成气溶胶,当植物油加热到烟点后,苯并(α)芘会黏附油烟一起排出,从而造成植物油中苯并(α)芘浓度下降,因此高温会加快油烟的挥发。植物油中,随着煎炸时间的增长,苯并(α)芘浓度会逐渐升高,当温度到达烟点后,植物油中部分苯并(α)芘随着油烟排出,浓度会下降,继续煎炸后,浓度会继续升高。

此次试验与赵昕^[12]研究相比,苯并(α)芘浓度上升趋势没有后者那么大,可能是因为此次试验的大豆油中添加了抗氧化剂。陈玉等^[13]在以稻米油为基油,制备含抗氧化剂的稻米调和油研究中发现,不含抗氧化剂的稻米油,在煎炸过程中苯并(α)芘浓度先急剧升高,然后在12 h后到达峰值,接着缓慢下降。而添加了抗氧化剂的稻米调和油,未煎炸过的油与煎炸后苯并(α)芘浓度差比未添加抗氧化剂的稻米原油小很多,添加迷迭香提取物和添加茶多酚同样能有效降低稻米油中苯并(α)芘浓度。Zhao等^[14]发现,花生红衣中含极丰富的天然多酚,花生不剥去红衣煎炸,与剥去红衣煎炸相比,花生中多环芳烃(包括苯并(α)芘),含量显著下降。以上均说明,油脂中苯并(α)芘浓度与油脂氧化稳定性之间存在显著的相关性。在煎炸过程中,油脂裂变会产生大量的自由基,甘油三酯水解后产生脂肪酸,脂肪酸再经过复杂的氧化还原反应,生成氢过氧化物或脂肪烃基化合物。这些再进一步降解为 $\text{C}_6\text{--C}_4$ 单元物质和环状化合物,降解产物与蛋白质和多糖的热解反应物生成含苯环的中间产物,最后再经过一系列反应生成苯并(α)芘^[10]。抗氧化剂抑制苯并(α)芘生成的机理可以初步解释为清除了煎炸油中的部分自由基,抑制了自由基的生成。

3 结论

试验结果表明,酸价、极性组分和苯并(α)芘浓度均会随煎炸时间的延长而出现不同程度的增大,但是抗氧化剂的加入会对酸价和苯并(α)芘含量有一定的抑制作用,但对极性组分含量的变化影响较小;整个过程中,酸价增长最缓慢,苯并(α)芘含量次之,极性组分增长最快,但是苯并(α)芘含量距离国家规定限值最近。煎炸店用油每天尽量使用新油,当天煎炸结束的油不可再反复使用。

参考文献

[1] 国家市场监督管理总局. 市场监管总局关于印发2019年食品安全监督抽检计划的通知[EB/OL]. (2019-01-31) [2020-02-03]. <http://gkml.samr.gov.cn/nsjg/bgt/201902/t20190217-289802.html>.
[2] SÁNCHEZ-GIMENO A C, NEGUERUELA A I, BENITO M, et al. Some physical changes in Bajo Aragón extra virgin olive oil during the frying process[J]. Food chemistry, 2008, 110(3): 654-658.
[3] 卢庭明. 抗氧化剂对方便面煎炸棕榈油品质影响的研究[D]. 郑州: 河南工业大学, 2018.
[4] 程亚军, 刘滢, 曹培让, 等. 煎炸棕榈油的理化性质及其中的极性组分对HepG2细胞的影响[J]. 中国油脂, 2018, 43(11): 14-18, 23.
[5] 刘宁, 沈明浩. 食品毒理学[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2007.
[6] 叶韬, 王昆, 陈志娜, 等. 油炸调理肉串过程煎炸条件对大豆油苯并芘含量及理化指标的影响[J]. 中国粮油学报, 2018, 33(5): 49-54.
[7] 马宇翔, 陆启玉. 食用油脂煎炸过程中多环芳烃的研究进展[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2018, 39(4): 128-135.

重点加强对蔬菜生产基地和专业合作社相关人员进行培训,要求严格按相关规程生产并采摘蔬菜,蔬菜上市前蔬菜生产基地和合作社要开展自检,自检率达 100%,并增加叶菜类蔬菜检测频次,制定了《池州市蔬菜标准园生产技术准则》,规定了蔬菜标准园中蔬菜病虫害综合防治技术、合理施肥技术及蔬菜采收的要求,要求各标准园严格执行生产技术准则,保证蔬菜的标准化无害化生产。同时制定了《池州市蔬菜标准园产品质量标准》,规定了蔬菜标准园蔬菜产品的质量要求、检验方法、检验规则、包装、运输及贮存等,确保蔬菜质量安全。

3 蔬菜质量安全产后监督及风险评估

3.1 加强检测与执法联动 各蔬菜基地或供应商风险防控计划严格按照要求执行,并将检测结果记录完整进行记录备查。乡镇农产品质量安全检测站、蔬菜生产基地检测室和农贸批发市场快检室等快速检测单位,每日将检测结果实时上传至安徽省菜篮子质量安全监控信息系统,主管部门可以通过监控信息系统中的查询统计、分析报告、信用评估和安全预警等功能,全方位、多角度地对管辖地区农产品质量安全情况进行实时动态监控^[7]。发现不合格的蔬菜产品,要立即报告主管部门,主管部门组成联合执法队,对蔬菜进行查封、销毁,并认真查找原因,制定措施,确保蔬菜安全准入。

3.2 完善风险监测预警功能 国家应进一步完善农产品质量风险监测与信息预警功能建设,特别是蔬菜质量安全有关的风险监测和信息预警,通过风险评估,可以找出蔬菜中风险程度较高的农药,进而对其重点监管、提高效率^[7]。

3.3 建立和完善蔬菜质量安全可追溯系统 实行产品追溯编码与蔬菜质量安全信息相关联,消费者通过编码可以查询到产品质量安全的信息,加强农产品质量安全追溯系统建设,是加强蔬菜质量安全监管的重要手段^[10],是保证农产品质量安全长期稳定的前提,是提高农产品质量安全管理水平的基础和重要途径。

4 结语

安徽省池州市通过实施蔬菜质量安全风险防控,开展了蔬菜质量安全监督检查、蔬菜安全生产等一系列技术与推广应用工作,取得了一批先进适用的科技成果和突出工作业绩。主要体现在:一是开展拟建蔬菜基地土壤重金属背景值调查与污染风险评价、蔬菜农药残留质量安全监测与污染风险评价;二是建立“市、县区、乡镇、生产基地和批发农贸市场”五级蔬菜质量安全检测体系;三是开展蔬菜绿色增效技术试验研究示范;四是加强建立追溯、监督机制,完善风险防

控机制;五是加强行政推动、技企联动,落实风险防控计划,促进了蔬菜质量安全风险防控主体技术的集成推广应用。蔬菜质量的安全防控示范辐射效应大,社会、经济、生态效益显著,仅 2015—2018 年,全市建设国家标准园 6 个、省级和市级蔬菜标准园各 8 个。全市累计推广蔬菜质量安全风险防控技术 0.98 万 hm^2 ,实现蔬菜总产量 28.58 万 t,节本 5 437 万元,总增收 9 300 万元,受益菜农 1 万多户。蔬菜质量安全水平显著提升,全市蔬菜农残抽检合格率 2018 年已达 99.47% (比国家要求 96% 高 3.47 百分点),比 2005 年抽检合格率 78% 提高了 21.47 百分点;在安徽省农委组织的全省农产品质量安全例行监测中,池州市近年蔬菜农残抽检合格率均达 100%,全省领先,且多年未出现蔬菜中毒事件,保障有力,成效显著。

与此同时,通过研究建立了“科研院校、生产基地(企业)、质量安全监管监测部门、蔬菜销售部门”四位一体的推广应用模式,不仅使蔬菜质量安全风险防控技术得到迅速推广应用,保证商品菜的有效供给,而且让城镇居民吃上放心菜,保障了蔬菜从田头到餐桌的质量安全。

全市建立了农产品质量安全监管体系、蔬菜质量安全检测体系,项目区蔬菜种植布局得到优化,化学投入品面源污染得到遏制,农田生态环境得到改善;广大菜农施肥打药观念得到更新,菜农科学种菜水平进一步提高。该项目的实施深受广大菜农、基地(企业)的广泛赞誉和好评,既保障了蔬菜质量安全,又改善了菜地生态环境,促进了池州市蔬菜产业的可持续发展。

参考文献

- [1] 王巧林. 对蔬菜中有机磷含量检测的专业设计方案[J]. 中小企业管理与科技, 2013(7): 324-325.
- [2] 张强, 郁寅良, 王春生, 等. 苏州市蔬菜质量安全追溯系统构建及应用[J]. 上海农业科技, 2011(1): 25-26.
- [3] 张秀娟, 杜静. 我国蔬菜质量安全现状与对策分析[J]. 消费导刊, 2018(29): 36.
- [4] 郑国璋. 农业土壤重金属污染研究的理论与实践[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2007: 5-6.
- [5] 李田, 李德成, 曹媛, 等. 安徽省池州市植烟土壤的重金属污染程度及污染风险评价[J]. 土壤, 2011, 43(4): 674-676.
- [6] 李亮, 徐华生. 影响蔬菜农残例行监测结果可比性因素的分析[J]. 农业质量标准, 2006(5): 36-37.
- [7] 吴爱美. 蔬菜农药残留质量安全监测与评价: 以池州市为例[J]. 现代农业科技, 2016(15): 271-273.
- [8] 吴量亮. 我省今年投入 825 亿多元实施 33 项民生工程[N]. 安徽日报, 2016-02-07(001).
- [9] 安徽省人民政府. 安徽省人民政府关于 2016 年实施 33 项民生工程的通知: 皖政[2016]25 号 [A/OL]. (2016-02-01)[2020-02-01]. <http://aqxxgk. anqing. gov. cn/show. php? id=414674>.
- [10] 冯恩东, 钱江红, 张红生. 南京蔬菜质量安全监管追溯系统设计与应用[J]. 江苏农业科学, 2013, 41(5): 283-285.
- [11] 安柯静, 刘玉兰, 马宇翔, 等. 3 种油脂煎炸过程极性组分与甘油三酯聚合物及多环芳烃相关性研究[J]. 中国油脂, 2018, 43(1): 70-75.
- [12] 赵昕. 植物油高温加热过程中苯并[α] 芘的变化[J]. 食品工业, 2016, 37(6): 10-13.
- [13] 陈玉, 赵菁, 姚行权, 等. 以稻米油为基油制备稻米调和油及其煎炸性能的研究[J]. 中国油脂, 2018, 43(10): 12-16, 31.
- [14] ZHAO X, WU S M, GONG G Y, et al. TBHQ and peanut skin inhibit accumulation of PAHs and oxygenated PAHs in peanuts during frying[J]. Food control, 2017, 75: 99-107.

(上接第 184 页)