

基于拉曼光谱分析配送食物中的脂质氧化

张胜来

(江苏食品药品职业技术学院, 江苏淮安 223003)

摘要: 针对以往长距离配送过程中食物易氧化变质等问题, 对变质原因进行分析, 采用改变 pH 值、运输温度、摇晃速度及时间方法解决长距离配送中油脂易氧化变质问题。本文采用间接碘量法测定不同 pH 值、配送温度、晃动速度以及运输时间下油脂的过氧化值。基于拉曼光谱分析藻油、棕榈仁油和橄榄油氧化过程。实验结果表明, 当 pH 值达到 10 时, 食物油脂的过氧化值仅为 3 meq/kg。长距离配送温度超过 40 °C, 摇晃速度 3 周/s, 食物油脂的过氧化值超过 10 meq/kg。食物油脂的过氧化值仅在 4 d 时达到最大 15 meq/kg。食物油脂氧化过程中, 拉曼峰强先升高再降低, 说明食物油脂分子基团在一定程度上产生变化, 发生变质, 说明长距离配送食物应该在 pH 值较大、温度偏低、运输时间较短、减少摇晃等条件下进行, 为防止食物变质提供可靠分析依据。

关键词: 长距离配送; 油脂; 氧化; 过氧化值; 拉曼光谱; 峰强; 食物变质

文章编号: 1673-9078(2019)08-311-316

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2019.8.043

Study on Lipid Oxidation in Food Distribution Based on Raman Spectroscopy

ZHANG Sheng-lai

(Jiangsu Food & Pharmaceutical Science College, Huaian 223003, China)

Abstract: In order to investigate lipid oxidation in the long-distance distribution, the reasons for lipid oxidation were analyzed. The pH, transport temperature, shaking speed and time were detected. In this work, indirect iodine method was used to determine lipid oxidation at different pH values, distribution temperature, shaking speed and transportation time. The lipid oxidation process of alga oil, palm kernel oil and olive oil was analyzed based on Raman spectrum. The results showed that when the pH reached 10, the oxidation value of food lipid was only 3 meq/kg. The long-distance distribution temperature exceeded 40°C, the shaking speed was 3 circles/s, and the oxidation value of food fats exceeded 10 meq/kg. The oxidation value of food fats reached a maximum of 15 meq/kg after 4 days. In the process of lipid oxidation, the peak of Raman first increased and then decreased, indicating that the lipid molecular groups changed to a certain extent and deteriorated. It is stated that food should be distributed over long distances under the conditions of high pH, low temperature, short transportation time, and reduced shaking. This could provide a reliable analysis basis for preventing food deterioration.

Key words: Food distribution; Lipid; oxidation; peroxide value; Raman spectrum; peak intensity; food deterioration

在长距离配送食物过程中, 很容易发生食物变质的问题, 尤其是易氧化食物的变质现象更为严重。油脂是易氧化食物的代表, 通常含有油脂的食物极易氧化, 发生变质, 出现财务损失的现象^[1]。在餐饮行业中油脂的使用率最高, 长距离配送过程中, 含油脂食物会因为配送环境变化, 出现无规律氧化变质, 对此, 需要通过改变储存环境保障油脂食物不变质。

收稿日期: 2019-04-03

基金项目: 江苏高校哲学社会科学研究基金项目 (2017SJB1668); 淮安市科协项目 (SKX2017066)

作者简介: 张胜来 (1974-), 男, 副教授, 研究方向: 烹饪工艺与营养, 食品加工与安全

在以往的研究过程中, 出现了很多较好的分析方法, 如易运红等^[2]人提出茶与葡萄皮总多酚的提取、纯化及抗氧化活性方法, 以乌龙茶与葡萄皮为研究对象, 对乙醇浸提乌龙茶与葡萄皮总多酚的工艺进行优化, 再以 NKA9 型大孔树脂纯化, 测定纯化多酚的还原力以及羟自由基清除率, 其抗氧化活性强弱进行评价, 但该方法的 pH 值较小, 在分析过程中易出现稳定性差的问题, 导致分析不准确。龚琴等^[3]人提出一种新型的食用油中过氧化值快速检测的试剂盒, 该方法探索合适的替代溶剂以及最佳的试剂配比, 依据 GB 5009.37-2003 原理制作标准比色卡, 在反应载体上进行显色反应, 通过目视比色快速判定待测油脂的过

氧化值, 但该方法油脂的过氧化值越大, 油脂运输摇动的速度越快, 油脂的过氧化值越大, 油脂越容易氧化变质, 可靠性较低。

针对上述存在的问题, 提出采用拉曼光谱法研究油脂氧化过程, 采用间接碘量法测定油脂的过氧化值, 引入拉曼光谱分析, 对藻油、棕榈仁油和橄榄油氧化过程进行分析。实验得出, 该方法能够描述含油脂食物中分子基团的变化情况, 性能好、可靠性较强。由此可知, 在长距离配送食物应该在 pH 值较大、温度偏低、运输时间较短、减少摇晃等条件下进行, 为防止食物变质提供可靠分析依据。

1 材料与方法

1.1 准备测试材料与制剂

选取嘉里粮油(天津)有限公司售卖的达因伊可新复合 DHA 藻油、棕榈仁油和欧丽薇兰橄榄油作为实验样品, 无抗氧化剂、不添加防腐剂。从美国 Sigma 公司购买常规分析纯试剂, 主要包括: 正己烷、浓盐酸、锌片、硝酸银等等。采用德国布鲁克 SENTERRA II 显微共聚焦光谱仪, 日本日立公司生产的 Regulus 8200HT7700 透射电子显微镜, 上海尚道仪器制造有限公司生产的恒温水浴箱以及漩涡振荡仪^[4-6]。

1.2 过氧化值测定过程

在 240 mL 碘量瓶中加入 2.5 g 左右的油脂试样, 然后倒入氯仿和冰乙酸混合液 25 mL, 得到样品 100% 溶解的溶液, 在盖紧瓶盖之前与 100 mL 饱和碘化钾溶液混合, 之后低速晃动 30 s, 静置无光处 180 s。使用硫代硫酸钠标准溶液滴定上述溶液之前, 将 100 mL 的水倒入上述步骤中并晃动均匀, 溶液变成浅黄色时添加 1 mL 淀粉指示剂, 重复滴定步骤当溶液中不存在蓝色成分时为止, 采用体积的形式记录 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 溶液的用量。采用以上方式展开空白实验, 即除去关于油脂试样的实验步骤, 通过体积的形式记录 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 溶液的用量^[7-9]。

1.3 油脂的过氧化值计算

油脂试样过氧化值的计算方法用公式(1)描述:

$$E(\text{meq/kg}) = \frac{Q(f-f_0) \times 0.1158}{m} \times 100 \times 77.7 \quad (1)$$

式中: E 表示油脂样品的过氧化值; m 是油脂的当前含量 f 和初始含量 f_0 的单位; 硫代硫酸钠标准溶液的物质的量浓度用 Q 表示, 单位是 mol/L; 换算因子为 77.7; 0.1158 mL 的碘同 1.00 mL 的硫代硫酸钠标准溶液质量相当; 另外, 油脂样品

的重量 m 单位是 g。

1.4 基于拉曼光谱分析油脂氧化过程

印度科学家在 20 世纪初期提出了一种光谱技术, 该技术以散射效应为基础逐渐形成并完善, 这种光谱被称作拉曼光谱^[10]。采用拉曼光谱能够获取体现油脂和油脂氧化产物的分子基团结构^[11], 通过分析易氧化油脂分子基团可获取基团的峰强、特征值等信息, 研究易氧化油脂变质过程中分子基团的变化^[12]。之所以在油脂氧化测量与研究中得到广泛应用, 是因为拉曼光谱相比同类方法具有优势^[13], 如: 同一般的气相色谱法、化学法比较, 拉曼光谱不仅检测油脂分子种类的精确度高、效率高, 并且油脂的分子结构不会遭到损坏^[14]。因此, 实验采用性能较好的拉曼光谱测定配送过程中易氧化油脂的变质情况。

1.5 基于拉曼光谱的油脂氧化监测步骤

本次实验使用烘箱法加速油脂氧化, 三种油被存放在密封性良好的玻璃试管中, 将其存储在 53℃ 的恒温烘箱内, 以 1.5 d 为周期提取此实验样品, 记录实验数据。

Step 1: 将 785 nm 激光作为显微光谱仪的照射光源, 物镜的焦距镜头为 5 倍。

Step 2: 使用锡箔纸包住显微光谱仪的载玻片, 分别滴上三种油脂样品, 调整载玻片与显微光谱仪的位置, 直至能够清晰观察待研究样品^[15]。

Step 3: 监测参数定义为: 光栅数据是 500 mm^{-1} , 积分用时是 12 s, 并在 $150 \sim 1500 \text{ cm}^{-1}$ 区域内扫描一次。

1.6 数据统计分析

每个样品在不同速度下进行重复测定 3 次, 结果采用 origin 8.6 作图并以 SPSS 20.0 分析得出相关结论。

2 结果与讨论

2.1 不同运输条件下油脂的过氧化值分析

在上述实验方法基础上变换 pH 值、配送温度、晃动速度以及运输时间 4 种变量, 不同实验中仅变换一种变量, 其他实验步骤与实验环境不变。

2.1.1 变换 pH 值

变换实验过程中氯仿和冰乙酸溶液的 pH 值, 得到 pH 值同油脂过氧化值间的关系, 如图 1 所示。

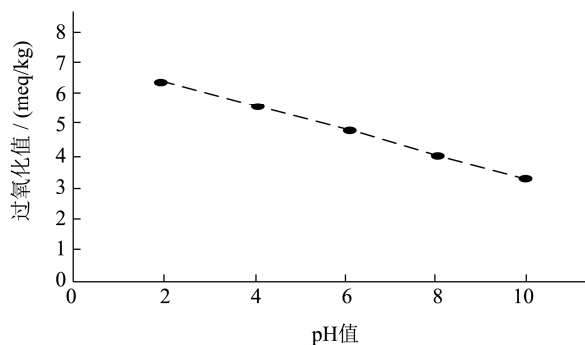


图1 pH值同油脂过氧化值间的关系

Fig.1 Relationship between pH value and peroxide peroxide value

分析图1能够看出,随着氯仿和冰乙酸溶液的pH值增加,油脂的过氧化值不断降低,两者呈线性关系,即氯仿和冰乙酸溶液的pH值越大,油脂的过氧化值越小。根据该结果可知,油脂接触到的pH值越大,越能抑制油脂的氧化程度,可参照这一特点制定长距离油脂配送过程中预防油脂氧化变质的措施。

2.1.2 变换配送温度

设置油脂运输的温度分别为10℃、20℃、30℃、40℃、50℃,其他实验参数设定正常,图2为不同配送温度下油脂的过氧化值变化情况。

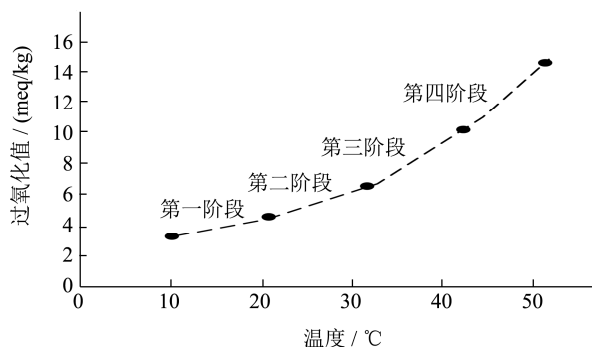


图2 配送温度同油脂过氧化值间的关系

Fig.2 Relationship between distribution temperature and lipid peroxide value

分析图2能够看出,总体来讲,温度与油脂的过氧化值成正比例关系,配送温度不断增加,油脂的过氧化值不断上升。但这种上升趋势不是显著的线性关系,过氧化值提升的速度为:第一阶段<第二阶段<第三阶段<第四阶段,主要是因为10℃~20℃的温度相对而言更适合储存油脂,在此温度下油脂氧化的速度较慢,因此,这一阶段中油脂的过氧化值最小,且增长趋势较慢。由此看出,易氧化食物在长距离配送过程中,温度严重影响油脂的变质过程,温度越高,油脂的过氧化值越大,油脂越容易变质。

2.1.3 变换晃动速度

根据正常步骤展开实验,并按照设定的速度晃动碘量瓶瓶底,实验过程中的晃动速度分别定义为1周/s、2周/s、3周/s、4周/s,记录4种速度下油脂的过氧化值变化规律,用图3描述。

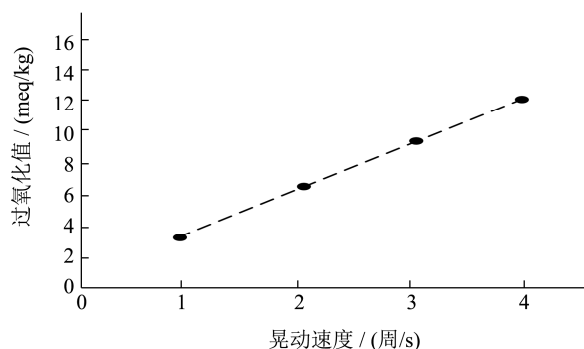


图3 摇动速度同油脂过氧化值间的关系

Fig.3 Relationship between shaking speed and grease peroxide value

由图3能够看出,随着摇动速度的增加,油脂过氧化值呈快速升高的趋势,即油脂摇动的速度越快,油脂的过氧化值越高,油脂越容易氧化变质。因此,在以后的长距离食物运输过程中,应注意选择合理、稳定的油脂存放方式,避免油脂液体大幅度晃动,降低油脂氧化变质速度。

2.1.4 变换运输时间

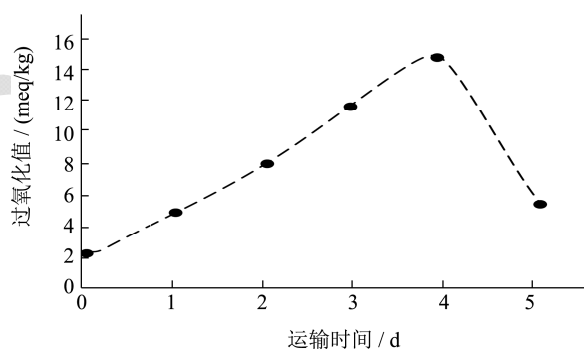


图4 运输时间同油脂过氧化值间的关系

Fig.4 Relationship between transport time and lipid peroxide value

准备含有45 mL油脂样品的烧杯,滴入4滴左右的助氧化剂(此处助氧化剂采用饱和FeCl₃溶液),将上述步骤晃动均匀,需用纱布遮住烧杯的瓶口,将实验样品溶液存放在配送的车辆中,保证其余的实验环境不变。实验样品溶液准备完毕,需首次测量溶液的过氧化值,之后隔1 d测量一次油脂样品的过氧化值,记录不同实验周期中油脂样品的过氧化值变化趋势,用图4描述。

分析图4能够看出,实验的前4 d当中,油脂的过氧化值与实验天数成正比例关系,油脂存放时间越

长, 过氧化值越大, 即变质的趋势、程度更加明显。实验第 4 d, 油脂样品的过氧化值最大, 第 4 d~5 d 之间, 油脂过氧化值与时间成反比例关系, 过氧化值急剧下降, 在第 5 d 时低于 6 meq/kg。根据上述数据可知, 运输过程中的油脂随着运输时间的增长, 油脂的过氧化值变化有所不同, 主要呈先增加、后降低的趋势。油脂酸败是油脂变质的一种表现, 出现这种有拐点的变化曲线证明油脂在变质过程中, 油脂的过氧化值与油脂的酸败不存在相关关系。

综上可知, 易氧化的油脂在长距离配送过程中, 随 pH 值、配送温度、摇动速度以及运输时间的变化油脂的过氧化值变化存在差异, 油脂的变质程度有所不同。总体看来, pH 值越大, 植物油的过氧化值越小; 温度会影响油脂的变质过程, 温度越高, 油脂的过氧化值越大, 油脂越容易变质; 油脂晃动的速度越快, 油脂的过氧化值越高, 油脂变质速度越快; 随着运输时间的增长, 油脂的过氧化值变化呈先增加、后降低的趋势。

2.2 基于拉曼光谱的油脂氧化变质分析

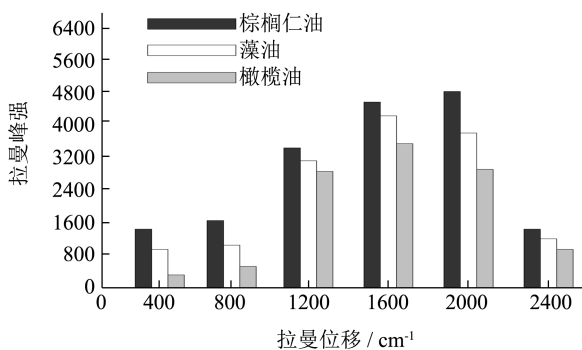


图5 三种油脂的拉曼光谱图

Fig.5 Raman spectrum of three oils

棕榈仁油、藻油以及橄榄油的拉曼光谱变化用图 5 描述。分析图 5 能够看出, 后半程实验中, 三种油脂均出现拉曼峰值, 刚出现的峰值较小, 后期出现的峰值较高, 三种油脂的峰值存在共性, 即峰值均出现在 1200~2000 cm^{-1} 的位移区域内, 三种油脂的峰值走势基本吻合。不同拉曼位移上, 三种油脂的拉曼峰强有所不同, 三者关系为棕榈仁油>藻油>橄榄油, 出现这种情况主要是因为: 脂肪酸在三种油脂中的构成形式、存在方式不同, 以及其他成分在三种油脂中的组成方式存在差异, 导致氧化变质过程中, 三种油脂的部分拉曼特征峰强度有所不同。三种油脂加速氧化变质, 记录 6 种实验周期上三种油脂的拉曼光谱变化情况, 分别用图 6、图 7、图 8 描述。

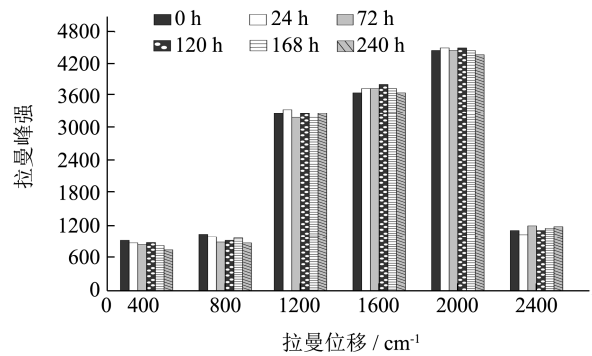


图6 棕榈仁油氧化过程中的拉曼光谱图

Fig.6 Raman spectrograph during oxidation of palm kernel oil

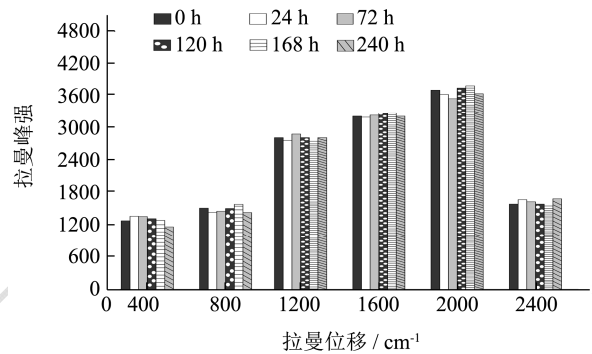


图7 藻油氧化过程中的拉曼光谱图

Fig.7 Raman spectrograph during oxidation of algae oil

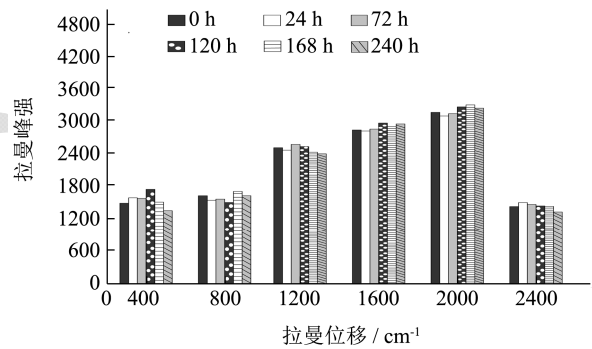


图8 橄榄油氧化过程中的拉曼光谱图

Fig.8 Raman spectrograph during olive oil oxidation

图 6 中, 棕榈仁油氧化变质过程中, 在 6 种实验周期上测得的拉曼峰强变化趋势基本吻合, 总体趋势为: 拉曼位移为 1200 cm^{-1} ~2000 cm^{-1} 时出现拉曼峰强, 拉曼峰强趋势由低至高再转低, 2000 cm^{-1} 拉曼位移时峰强最高。

图 7、图 8 中藻油和橄榄油的拉曼峰强趋势与棕榈仁油的峰强趋势大致相同, 从最高峰强值角度而言: 棕榈仁油>藻油>橄榄油。图中拉曼峰的形成原理如下: 不计其数的分子基团存在各种油脂当中, 各个基团和携带拉曼活性的振动形式融合, 产生不同的拉曼峰。拉曼峰与油脂分子基团浓度存在以下关系: 浓度越高, 拉曼峰越高, 浓度越低, 拉曼峰越低。

分析图 6、图 7 和图 8 可知,不同拉曼峰对应的拉曼位移存在差异,这是因为油脂分子基团彼此作用,引起拉曼峰的少量位移变化。三种油脂在 6 种实验周期中的峰强趋势大致相同,且均在实验结束时拉曼峰值大大降低,基本回到实验初始的拉曼峰强,这种现象表明,油脂的分子基团在一定程度上发生改变。

实验从不同时间周期、不同油脂种类角度分析了油脂在氧化变质过程中的拉曼峰变化情况。综上可知,棕榈仁油、藻油以及橄榄油氧化变质过程中,油脂的分子基团在不同的拉曼位移上呈现出不同的变化,即氧化变质油脂的分子基团变化的强度有所不同,位置分布集中在几个不同的位移点。

3 结论

3.1 本文采用间接碘量法测定长距离运输油脂中的过氧化值,变换 pH 值、配送温度、晃动速度以及运输时间,得到不同变量对长距离食物运输过程中的油脂的过氧化值影响如下:pH 值越大,植物油的过氧化值越小;配送温度越高,油脂的过氧化值越大,油脂运输摇动的速度越快,油脂的过氧化值越大,油脂越容易氧化变质;运输过程中的油脂随着运输时间的增长,油脂的过氧化值呈先增加、后降低的趋势。

3.2 采用拉曼光谱测定油脂氧化过程中,棕榈仁油、藻油以及橄榄油中脂肪酸的构成形式、存在方式有所差异,导致氧化变质过程中,三种油脂的部分特征峰强度有所不同;棕榈仁油、藻油以及橄榄油在不同拉曼位移上出现拉曼峰强,实验结束时,拉曼峰强皆呈下降趋势回到初始值,说明油脂氧化过程中,油脂中的分子基团在一定程度上发生改变,即变质现象。

3.3 文章采用的间接碘量法、拉曼光谱法皆能有效分析油脂在配送过程中发生的氧化变质过程。根据上述实验结果制定合理的预防变质措施:长距离配送油脂类食物过程中应注意 pH 值的大小、设定合理的配送温度、降低油脂制品的晃动速度、尽量缩短油脂食物的运输时间。本文研究为预防长距离食物配送过程中易氧化食物变质提供可靠的分析依据,是一种有效的易氧化食物变质分析方法。

参考文献

- [1] 陈杰.酒店餐饮中食品安全管理信息不对称问题的研究[J].食品研究与开发,2017,38(2):214-217
CHEN Jie. Information asymmetry problem study for hotel restaurant food safety management [J]. Food Research and Development, 2017, 38(2): 214-217
- [2] 易运红,张敏娟,吕君亮,等.茶与葡萄皮总多酚的提取、纯化及抗氧化活性[J].食品工业科技,2015,36(9):229-233
YI Yun-hong, ZHANG Min-juan, LYU Jun-liang, et al. Extraction purification and antioxidant activity of total polyphenols from tea and grape skin [J]. Science and Technology of Food Industry, 2015, 36(9): 229-233
- [3] 龚琴,王芳斌,孙桂芳,等.食用油过氧化值快速检测试剂盒的研制及其性能评价[J].食品安全质量检测学报,2016,7(10):4145-4149
GONG Qin, WANG Fang-Bin, SUN Gui-Fang, et al. Research and performance evaluation of rapid detection kits for the determination of peroxide value in oils [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2016, 7(10): 4145-4149
- [4] 金伟,余金明,顾沈兵.上海市闵行区餐饮从业人员食品安全行为与健康素养的关系分析[J].复旦学报:医学版,2015,42(4):517-523
JIN Wei, YU Jin-ming, GU Shen-bing. Analysis on the relationship between the food safety behavior and health literacy level of food handlers in Minhang district of Shanghai, China [J]. Fudan University Journal of Medical Sciences, 2015, 42(4): 517-523
- [5] Chang C W, Miki T, Shiah F K, et al. Linking secondary structure of individual size distribution with nonlinear size-trophic level relationship in food webs [J]. Ecology, 2016, 95(4): 897-909
- [6] 林新月,朱松,李玥.拉曼光谱测定食品油脂的氧化[J].食品与生物技术学报,2017,36(6):610-616
LIN Xin-yue, ZHU Song, LI Yue. Evaluation of edible oils oxidation by Raman spectroscopy [J]. Journal of Food Science and Biotechnology, 2017, 36(6): 610-616
- [7] 李娜,南新元,陈剑楠.关于金矿石生物氧化预处理过程 ORP 预测研究[J].计算机仿真,2016,33(6):310-314
LI Na, NAN Xin-yuan, CHEN Jian-nan. Research on ORP prediction of gold ore biological oxidation pretreatment process [J]. Computer Simulation, 2016, 33 (6): 310-314
- [8] 张娜,郭庆启,韩春然,等.模糊数学法在餐饮食品微生物风险评估中的应用[J].中国食品学报,2017,17(8):210-216
ZHANG Na, GUO Qing-qi, HAN Chun-ran, et al. Application of fuzzy mathematics method in risk assessment of catering microorganism revised draft [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2017, 17(8): 210-216
- [9] Shin M G, Yoon S H, Rhee J S, et al. Correlation between oxidative deterioration of unsaturated lipid and n-hexanal during storage of brown rice [J]. Journal of Food Science, 2015, 51(2): 460-463

- [10] 高媛,王宁,于修焯,等.基于傅里叶近红外光谱的食用油过氧化值间接检测研究[J].中国粮油学报,2015,30(5):138
GAO Yuan, WANG Ning, YU Xiu-zhu, et al. Indirect determination of peroxide value of edible oils by fourier transform near infrared spectrum spectroscopy [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2015, 30(5): 138
- [11] 李晓龙,阴英超,黄健花,等.DHA/AA 粉末油脂氧化稳定性与特定挥发性氧化产物的比较分析研究[J].中国油脂,2016,41(8):37-40
LI Xiao-long, YIN Ying-chao, HUANG Jian-hua, et al. Comparison of oxidation stabilities and certain volatile oxidation products of DHA/AA oil powder [J]. China Oils and Fats, 2016, 41(8): 37-40
- [12] 周中英,朱雪晶,冯健雄,等.气调包装对原料油菜籽酸价和过氧化值的影响[J].食品与发酵工业,2016,42(11): 167-170
ZHOU Jin-ying, ZHU Xue-jing, FENG Jian-xiong, et al. Effect of controlled atmosphere packaging on acid value and peroxide value of rapeseed at room temperature [J]. Food and Fermentation Industries, 2016, 42(11): 167-170
- [13] Kashiwagi S, Nakamura K, Arai H, et al. Electrophoretic analysis of oxidative modification of apolipoprotein E in very Low density lipoprotein from fresh human plasma [J]. Electrophoresis, 2015, 20(7): 1418-1424
- [14] 陈荣豪,陈文学,陈海明,等.乳酸菌发酵过程中番木瓜饮料的主要成分分析与抗氧化活性变化[J].食品科学,2018,39(6):222-229
CHEN Rong-hao, CHEN Wen-xue, CHEN Hai-ming, et al. Changes in major components and antioxidant activity of papaya beverage during fermentation with lactic acid bacteria [J]. Food Science, 2018, 39(6): 222-229
- [15] 王卫国,胡晓伟.葡萄酒中多酚及多酚氧化酶研究现状与展望[J].中国酿造,2017,36(8):16-19
WANG Wei-guo, HU Xiao-wei. Research status and prospect of polyphenols and polyphenol oxidases in grape wine [J]. China Brewing, 2017, 36(8): 16-19

(上接第 197 页)

- [17] 褚学英,田龙.山茱萸猕猴桃复合果酒的研制[J].酿酒科技,2016,11:89-91
CHU Xue-ying, TIAN Long. Development of compound fruit wine of fructus corni and kiwi [J]. Brewing Technology, 2016, 11: 89-91
- [18] 文连奎,赵薇,张微等.果酒降酸技术研究进展[J].食品科学,2010,11:325-328
WEN Lian-kui, ZHAO Wei, ZHANG Wei, et al. Research progress on acid reducing technology of fruit wine [J]. Food Science, 2010, 11: 325-328
- [19] 李运龙,陈朝银,程春生等.我国果酒生产发展的研究[J].食品研究与开发,2003,1:35-37
LI Yun-long, CHEN Zhao-yin, CHENG Chun-sheng, et al. Research on the development of fruit wine production in China [J]. Food Research and Development, 2003, 1: 35-37
- [20] 田晓菊.石榴发酵酒加工工艺的研究[D].陕西:陕西师范大学,2007
TIAN Xiao-ju. Research on processing technology of pomegranate fermented wine [D]. Shanxi: Shanxi Normal University, 2007
- [21] 冯莉梅,郭应龙.紫薯猕猴桃复合果酒的制备及香气成分分析[J].食品工业科技,2016,23:206-210
FENG Li-mei, GUO Ying-long. Preparation and aroma composition analysis of purple sweet potato kiwi fruit wine [D]. Food Technology, 2016, 23: 206-210
- [22] 杨雅利,阚建全,沈海亮等.紫甘薯酒发酵工艺条件的优化[J].食品科学,2012,3:157-162
YANG Ya-li, KAN Jian-quan, SHEN Hai-liang, et al. Optimization of fermentation conditions for purple sweet potato wine [J]. Food Science, 2012, 3: 157-162

(上接第 310 页)

- [8] 李倩.发酵酶解法制备酱香味基料的研究[D].天津:天津科技大学,2015
LI Qian. Study on preparation of sauce flavor base material by fermentation enzymatic hydrolysis [D]. Tianjin: Tianjin University of Science and Technology, 2015
- [9] 孟梦,郭琳,宋潇,等.米曲霉 A100-8 酿造黄豆酱的风味研究[J].中国调味品,2016,4:7-11
MENG Meng, GUO Lin, SONG Xiao, et al. Study on flavor of soybean paste brewed by *Aspergillus oryzae* A100-8 [J]. China Condiment, 2016, 4: 7-11