

# 动物源食品中脂质氧化降解产物检测的研究进展

吴娜, 王锡昌\*, 陶宁萍, 吴芮, 倪逸群

(上海海洋大学食品学院, 上海 201306)

**摘要:** 动物源食品中脂质的氧化降解会引起一系列的化学和物理变化, 对食品品质变化尤其是香气的形成有重要作用。通常这些反应受到温度、氧气、时间等多种因素的影响, 目前尚没有一种检测方法能同时测定氧化过程各个阶段中的氧化产物。本文对食品中脂质氧化降解机制及其检测技术进展进行了综述, 以期调控脂质氧化程度、改善食品品质提供理论依据。

**关键词:** 脂质降解; 氧化机制; 香气; 检测方法

## Research progress on analysis methods of lipid oxidation and degradation compounds in animal-derived food

WU Na, WANG Xi-Chang\*, TAO Ning-Ping, WU Rui, NI Yi-Qun

(College of Food Science and Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

**ABSTRACT:** Lipid oxidation and degradation in animal-derived food would cause a series of chemical and physical changes, in which the quality of food could be affected, especially the formation of aroma. These changes were usually influenced by many factors, such as temperature, oxygen, and time, etc. It is difficult to find a simple detection method which could apply to all phases of the lipid oxidation and determine all the oxidation compounds. The oxidation mechanism and detection method of degradation products in animal-derived food were reviewed in this article, which would provide a theoretical basis for further research of lipid oxidation controlled and improvement of food flavor.

**KEY WORDS:** lipid degradation; oxidation mechanism; aroma; detection method

### 1 引言

风味是衡量食品质量的重要指标, 在某种程度上决定产品的整体可接受性。食品的风味主要包括气味和滋味, 气味主要来自于醛、酮等挥发性风味物质, 而滋味主要来源于游离氨基酸、风味核苷酸等非挥发性物质。Ansorena等<sup>[1-4]</sup>研究表明, 与滋味相比, 气味对食品的最终风味品

质影响更为显著。

动物源食品在加热过程中, 主要是通过美拉德反应和脂质降解产生香气物质。早期研究认为, 动物源食品加热形成香气时, 肌肉组织产生肉类共有的风味, 而脂质则反应生成动物源食品的特殊风味。Mottram等<sup>[5]</sup>研究表明, 动物源食品加热产生的挥发性产物中, 脂质加热后产生的占很大比例。脂质降解赋予食品重要的芳香味, 在加热过

基金项目: 国家自然科学基金项目(31471608); “上海市中华绒螯蟹产业技术体系建设”项目(D-8003-10-0208); 上海市教委“食品质量与安全”重点学科建设项目(J50704)。

**Fund:** Supported by the National Natural Science Foundation of China (31471608); Industrial System Project of Chinese Mitten Crab of Shanghai Municipal Agriculture Commission (D-8003-10-0208); Leading Academic Discipline Project of Shanghai Municipal Education Commission (J50704).

\*通讯作者: 王锡昌, 教授, 主要研究方向为食品营养与品质评价。E-mail: xcwang@shou.edu.cn

\*Corresponding author: WANG Xi-Chang, Professor, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China. E-mail: xcwang@shou.edu.cn

程中脂类物质会经历水解、氧化及其产物会与其他成分进一步反应等复杂变化过程<sup>[6-8]</sup>。因此了解脂质氧化降解的机制及检测其氧化降解过程中的产物, 对控制脂质氧化, 从而改善食品风味品质十分重要。

## 2 脂质氧化降解机制

脂质主要包括由甘油三酯、游离脂肪酸和胆固醇等组成的中性脂和以磷脂为主的极性脂。甘油三酯、磷脂和游离脂肪酸是脂质中对香气贡献最大的三种组分<sup>[9]</sup>。动物脂肪都是混合甘油酯(三个脂肪酸不同), 含有饱和脂肪酸和不饱和脂肪酸。含不饱和脂肪酸多则熔点和凝固点低, 并且多不饱和脂肪酸含量的多少直接影响脂肪的氧化活性, 因此脂肪酸的性质决定了脂肪的性质<sup>[10-13]</sup>。游离脂肪酸最易氧化降解, 但其含量较低。磷脂比甘油三酯中的不饱和脂肪酸多, 更易发生降解, 因而对香气的形成更为重要。

脂质在受热时会分解为饱和及不饱和脂肪酸, 其中不饱和脂肪酸中的双键通过自动氧化、光氧化或酶氧化三种方式生成氢过氧化物, 氢过氧化物可以聚合形成多聚物、脱水形成酮基酸酯或继续氧化生成二级氧化产物, 二级氧化产物也可分解生成醛类、酮类、醇类、烃类、羧酸类、酯类、呋喃类及内酯类等一系列小分子化合物<sup>[14-17]</sup>。这些物质都有可能继续与美拉德反应的中间产物相互作用形成吡嗪类、噻唑类、吡啶类、三硫杂己烷类等挥发性化合物。所以脂类物质对动物源食品香气的贡献途径不仅包括自身氧化降解形成挥发性香气成分, 还包括形成的一些特征风味前体物质与美拉德反应中间产物之间相互作用形成具有肉类特征风味的香气<sup>[18-20]</sup>。迄今为止尚不清楚这些

复杂脂质成分在加热过程中是如何降解和氧化的。因此, 肉类食品中的脂质氧化降解过程及其反应机制一直处于推测阶段, 相关研究较少。Shibamoto 等<sup>[21]</sup>提出了脂质热氧化降解的中间产物及二级产物的大致路径, 在此基础上 Ohnishi 等<sup>[22]</sup>推测甘油三酯( $\alpha$ -酮酸部位)的热氧化降解过程(如图 1 所示)。

## 3 脂质氧化降解产物的检测

动物源食品中的脂类物质主要以甘油酯和磷脂两种形式存在。甘油酯和磷脂的水解及氧化是脂类物质形成风味物质的基础。因此, 通过对氧化降解产物指标的测定来评价氧化程度, 主要从两个角度进行分析: 脂质水解产物的检测和脂质氧化产物的检测<sup>[23-25]</sup>。前者包括如甘油二酯、甘油一酯和游离脂肪酸等水解产物; 后者包括吸氧量、脂质底物的减少、氢过氧化物的形成和次级氧化产物的形成等指标。

### 3.1 脂质水解产物的检测

脂质水解产生游离脂肪酸是脂质降解的第一阶段。脂质在加热过程中, 由于酯键的断裂首先水解成游离脂肪酸, 游离脂肪酸继续氧化形成不同的挥发性风味成分。与甘油酯或磷脂酯化的脂肪酸由于存在空间位阻, 较难与脂质受光、氧、热形成的游离基接触反应, 脂质水解形成的游离脂肪酸因更易被氧化而被认为是形成食品风味的重要前体物质<sup>[26-29]</sup>。

#### 3.1.1 化学分析法

酸价是衡量动物源食品脂质水解的重要指标, 由于受氧、热等因素的作用, 脂质逐渐水解, 使中性脂肪分解为

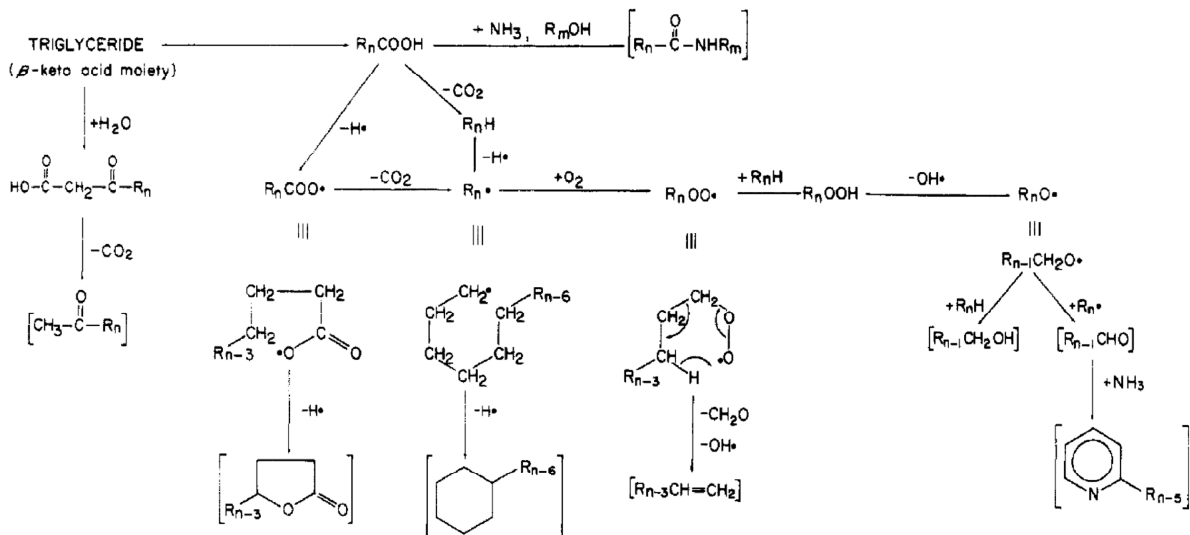


图 1 甘油三酯氧化降解产生香气物质途径<sup>[22]</sup>

Fig.1 Oxidation and degradation pathway of aroma compounds formed by triglyceride<sup>[22]</sup>

游离脂肪酸而使酸价增高,测定动物源食品的酸价有助于判断其脂质水解程度,从而鉴定食品的食用品质。龙卓珊等<sup>[30]</sup>研究了腊肠在贮藏过程中风味和脂质变化,结果表明随着贮藏期的延长,腊肠的游离脂肪酸含量和酸价在一定程度呈正相关。

### 3.1.2 仪器分析法

20世纪80年代末,高效体积排阻色谱技术首次联用吸附色谱分析氧化产物,使得油脂初级氧化产物与次级氧化产物的同步分析成为可能。曹文明等<sup>[31]</sup>建立了采用制备型快速柱层析-高效体积排阻色谱方法,对多种不同油脂中氧化甘油三酯寡聚物、氧化甘油三酯二聚物、氧化甘油三酯、甘油二酯、游离脂肪酸及其他氧化不皂化物等组分进行了定性分析,并采用面积归一法定量各组分比例。

氧化使油脂中不饱和脂肪酸的相对含量下降,而饱和脂肪酸的相对含量上升,因此在贮藏过程中,脂肪酸组成变化的快慢可以从一定程度反映油脂的抗氧化能力,油脂抗氧化能力越高,其脂肪酸的组成变化越慢。乔发东等<sup>[32]</sup>采用气相色谱法对宣威火腿加工过程中脂质的变化及挥发物的形成进行了分析,分别对三酰基甘油、游离脂肪酸和磷脂组分中的脂肪酸含量进行测定,确定加工过程中多不饱和脂肪酸的减少可能是由于其被氧化或者转化成其他化合物导致的。Crexi等<sup>[33]</sup>以黄花鱼为研究对象,采用气相色谱法对鱼油在精制过程中(不同温度、时间)游离脂肪酸含量的变化,以确定最佳去臭工艺条件。Vongsvivut等<sup>[34]</sup>采用衰减全反射中红外结合偏最小二乘法分析技术定量检测微胶囊鱼油贮存过程中游离脂肪酸的含量。

## 3.2 脂质氧化产物的检测

通过对氧化产物指标的测定来评价氧化程度,已经建立了很多方法,包括感官评定法;化学分析法如氢过氧化值法、硫代巴比妥酸值法等;仪器分析法包括傅里叶红外光谱法、核磁共振谱法等<sup>[35-37]</sup>。

### 3.2.1 感官评定法

感官评定法主要基于分析醛类、烃类等次级氧化分解产生的小分子挥发物的特殊气味。如具有青草味的己醛,在评价肉类脂质氧化方面胜过任何其他挥发性产物,尤其适用于富含 $\omega$ -6脂肪酸的脂质。Shahidi等<sup>[38]</sup>从己醛含量、风味及氧化稳定性三个方面评价了含有不同添加剂的猪肉,结果显示三者线性相关,且己醛含量与添加剂含量的相关系数达0.995。Beltran等<sup>[39]</sup>采用固相微萃取-气相色谱-质谱测定不同温度下加热的鸡肉中己醛的含量,结果表明己醛能很好预测脂质氧化的程度。陈妹等<sup>[40]</sup>通过对风鸭加工过程中挥发性风味化合物的跟踪监测,结合感官评价,建立了脂质氧化与风味品质的相关性。结果显示,当脂质氧化处在适度范围内时,其感官风味品质不断提升。

### 3.2.2 化学分析法

化学分析法通过测定脂质氧化过程中中间产物的形

成,确定脂质氧化的程度。常用的方法包括硫代巴比妥酸值、茴香胺值、过氧化值法和酸价等。

(1) 硫代巴比妥酸值法 不饱和脂质过氧化反应的最终产物有丙二醛(Malondialdehyde, MDA),其性质较稳定,常用于评价食品中的脂质氧化,是目前公认的反应脂质过氧化的指标之一。通过测定硫代巴比妥酸(TBA)与丙二醛(MDA)反应后的产物硫代巴比妥酸反应物质(Thioharhituric acid reactive substances, TBARS)判别脂质氧化程度,尤其适用于富含 $\omega$ -3脂肪酸的脂质。Dominguez等<sup>[41]</sup>研究了马肉在不同蒸煮条件下气味物质的形成,并通过TBARS值判断脂质氧化程度,结果表明蒸煮过程会使TBARS含量上升,从而导致氧化程度的增加。王艳等<sup>[42]</sup>以猪五花肉为原料,研究高温对中式培根脂质氧化和感官品质的影响,结果表明强化高温可以促进脂质氧化和风味物质积累。

(2) 茴香胺值法 脂质中醛类、酮类等化合物的含量,一般用茴香胺值表示,其数值越大,脂质氧化降解程度越大。其测定原理是在醋酸溶液中,醛类化合物和茴香胺反应,在350 nm处测定其吸光度,由此得到p-茴香胺值。刘丽薇等<sup>[43]</sup>以茴香胺值(p-AV)表征猪脂氧化状态,并确定猪肉脂质控制氧化的最佳条件。詹萍等<sup>[44]</sup>对不同氧化条件下羊脂的化学指标(过氧化值、茴香胺值等)和氧化过程中各种挥发性化合物成分的变化进行了研究,结果表明氧化温度和氧化时间对羊肉脂质中挥发性物质的种类和含量具有显著影响。

(3) 碘值法 由于脂质氧化是一个非常复杂而又动态的过程,中间产物的组成不仅由脂质本身决定,而且取决于脂质氧化的条件。过氧化物是脂质自动氧化的主要初级产物,它是反映脂质氧化状态方法中应用最广泛的,过氧化值一般用碘量法测定。碘量法测定过氧化值是以硫代硫酸钠标准溶液滴定脂质在氧化过程中产生的氢过氧化物与碘化钾反应完全产生的游离碘,通过计算碘量从而反映油脂的过氧化程度。胡鹏等<sup>[45]</sup>研究了不同温度对辐照扒鸡中脂肪酸组成及过氧化值的影响,结果表明随着温度的降低可显著降低辐照对扒鸡过氧化值的影响。虽然过氧化值法在评定脂质氧化程度中应用广泛,但过氧化物不稳定、易分解,因此过氧化值只能粗略地反应脂质氧化的程度。

(4) 酸价 酸价的测定不仅表现在中性脂肪分解为游离脂肪酸而使酸价增高,同时脂肪酸经氧化形成过氧化物后再分解为低级脂肪酸、醛类和酮类也可导致酸价的升高。孙灵霞等<sup>[46]</sup>研究油炸过程中煎炸油的酸价,结果表明随着煎炸时间的延长,煎炸油的酸价逐渐增大。

### 3.2.3 仪器分析法

仪器分析法通常用于检测不同脂质氧化产物的结构类型,以达到定性分析。紫外光谱法是测定脂质氧化的一种常用方法,不饱和脂肪酸在氧化过程中会形成共轭双键,

这种结构可以吸收 230~235 nm 的紫外光, 一般在 234 nm 处有很强的特征吸收。因此它可以用紫外分光光度计直接测定, 操作较为简单。然而, 共轭双键反映的是活泼自由基的数量, 自由基极不稳定, 在生成的同时也会快速与其他化合物反应。因此, 此方法只可用于脂质氧化降解的早期阶段。

近红外光谱的电磁波位于 750~2500 nm, 相应的波数为 12900~4000  $\text{cm}^{-1}$ 。Takamura 等<sup>[47]</sup>报道 2084 nm 是利用近红外光谱法检测可食用油脂过氧化物的重要波长。由于可以提供快速定量、定性的信息, 近红外光谱法被用作农业、食品、化学和医药等许多领域的非破坏性分析。丁洋等<sup>[48]</sup>建立了两种利用傅里叶变换红外光谱仪快速分析食用油中磷脂的方法。第一种是基于溶剂萃取耦合; 第二种是利用偏最小二乘法耦合。同传统方法相比, 这两种方法都具有快速、简便的优点。Martin 等<sup>[49]</sup>利用近红外光谱仪测定棕榈油在煎炸过程中醛、酮、醇等极性组分的含量, 发现在煎炸过程极性组分的含量显著上升。

鉴于高分辨核磁共振波谱(nuclear magnetic resonance, NMR)可测定甘油三酯中氢原子类型, 特别是在氧化过程中, 富含多不饱和脂肪酸的脂质的 NMR 与全过氧化值线性非常好, NMR 已成为一种比较有效的评价脂质氧化程度的仪器方法。Siciliano 等<sup>[50]</sup>运用 NMR 测定猪肉在成熟过程中脂肪酸链的组成, 结果表明, 猪肉脂肪酸中含大量多不饱和脂肪酸, 且油烯基链为主要存在的结构类型。

#### 4 展 望

脂质的氧化降解赋予动物源食品重要的风味品质。然而它在香气形成的复杂体系中, 远不止脂质水解、不饱和脂肪酸的氧化降解如此简单。首先, 脂质在降解过程中, 是如何从不同的氧化位点上断裂形成脂肪酸的, 目前国内外研究甚少; 在加热过程中如何控制脂肪酸的氧化程度, 进而分析脂肪酸降解中间产物对香气物质形成的贡献, 有待进一步的研究; 最后, 脂质的降解产物如醛、酮等小分子如何与其他热反应产物相互作用影响食品的整体香气, 也是涉及较少的领域。因此, 探明脂质热反应过程中氧化降解产物是如何影响食品香气, 具有深远的意义。

#### 参考文献

- [1] Ansorena DO, Gimeno I, Astiasaran JB. Analysis of volatile compounds by GC-MS of a dry fermented sausage: Chorizo de Pamplona [J]. *Food Res Int*, 2001, 34(1): 67-75.
- [2] Caul JF. The profile method of flavor analysis [J]. *Adv Food Res*, 1957, 7: 1-40.
- [3] Noble AC. Taste-aroma interactions [J]. *Trends Food Sci Tech*, 1996, 7(12): 439-444.
- [4] Small DM, Prescott J. Odor/taste integration and the perception of flavor [J]. *Exp Brain Res*, 2005, 166(3-4): 345-357.
- [5] Mottram DS. The effect of cooking conditions on the formation of volatile heterocyclic compounds in pork [J]. *J Sci Food Agric*, 1985, 36(5): 377-382.
- [6] Eriksson C. Aroma compounds derived from oxidized lipids, Biochemical and analytical aspects [J]. *J Agric Food Chem*, 1975, 23(2): 126-128.
- [7] St. Angelo AJ, Vercellotti J, Jacks T, *et al.* Lipid oxidation in foods [J]. *Crit Rev Food Sci Nutr*, 1996, 36(3): 175-224.
- [8] Frankel EN. Review. Recent advances in lipid oxidation [J]. *J Sci Food Agric*, 1991, 54(4): 495-511.
- [9] Reineccius G, Peterson D. Principles of food flavor analysis, in *Instrumental Assessment of Food Sensory Quality* [M]. Woodhead Publishing, 2013.
- [10] Bonaa KH, Borretzen B, Breivik H, *et al.* Fatty acid composition: U.S. Patent 5,502,077[P]. 1996-3-26.
- [11] Breivik H, Dahl KH, Krokan H E. Fatty acid composition: U.S. Patent 5,656,667[P]. 1997-8-12.
- [12] Wood JD, Enser M, Fisher AV, *et al.* Fat deposition, fatty acid composition and meat quality: A review [J]. *Meat Sci*, 2008, 78(4): 343-358.
- [13] Veerkamp JH, Mulder I, Van Deenen LLM. Comparison of the fatty acid composition of lipids from different animal tissues including some tumours [J]. *Biochim Biophys Acta*, 1962, 57(1): 299-309.
- [14] Esterbauer H. Cytotoxicity and genotoxicity of lipid-oxidation products[J]. *Am J Clin Nutr*, 1993, 57(5): 779S-785S.
- [15] Frankel EN. Volatile lipid oxidation products [J]. *Prog Lipid Res*, 1983, 22(1): 1-33.
- [16] Addis PB. Occurrence of lipid oxidation products in foods [J]. *Food Chem Toxicol*, 1986, 24(10): 1021-1030.
- [17] Kubow S. Lipid oxidation products in food and atherogenesis [J]. *Nutr rev*, 1993, 51(2): 33-40.
- [18] Frankel EN. Lipid oxidation: mechanisms, products and biological significance[J]. *J Am Oil Chem Soc*, 1984, 61(12): 1908-1917.
- [19] Zamora R, Hidalgo FJ. Coordinate contribution of lipid oxidation and Maillard reaction to the nonenzymatic food browning [J]. *Crit Rev Food Sci Nutr*, 2005, 45(1): 49-59.
- [20] Elizalde BE, Dalla Rosa M, Lericri CR. Effect of Maillard reaction volatile products on lipid oxidation [J]. *J Am Oil Chem Soc*, 1991, 68(10): 758-762.
- [21] Shibamoto, T. Analytical methods for trace levels of reactive carbonyl compounds formed in lipid peroxidation systems [J]. *J Pharm Biomed Anal*, 2006, 41(1): 12-25.
- [22] Ohnishi S, Shibamoto T. Volatile compounds from heated beef fat and beef fat with glycine [J]. *J Agric Food Chem*, 1984, 32(5): 987-992.
- [23] Esterbauer H, Cheeseman KH. Determination of aldehydic lipid peroxidation products: Malonaldehyde and 4-hydroxynonenal [J]. *Meth enzymol*, 1990, 186: 407-421.
- [24] Gray JI. Measurement of lipid oxidation: a review [J]. *J Am Oil Chem Soc*, 1978, 55(6): 539-546.
- [25] Halliwell B, Chirico S. Lipid peroxidation: its mechanism, measurement, and significance [J]. *Am J Clin Nutr*, 1993, 57(5): 715S-724S.
- [26] Kim Ha J, Lindsay RC. Method for the quantitative analysis of volatile free and total branched-chain fatty acids in cheese and milk fat [J]. *J Dairy Sci*, 1990, 73(8): 1988-1999.
- [27] Paulsen PV, Kowalewska J, Hammond EG, *et al.* Role of microflora in production of free fatty acids and flavor in Swiss cheese [J]. *J Dairy Sci*,

- 1980, 63(6): 912-918.
- [28] Warner K, Orr P, Glynn M. Effect of fatty acid composition of oils on flavor and stability of fried foods [J]. *J Am Oil Chem Soc*, 1997, 74(4): 347-356.
- [29] Bills DD, Scanlan RA, Lindsay RC, *et al*. Free fatty acids and the flavor of dairy products [J]. *J Dairy Sci*, 1969, 52(8): 1340-1345.
- [30] 龙卓珊. 广式腊肠风味形成机制及贮藏期变化研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2010.
- Long ZS. Analysis of Chinese cantonese sausage flavor formation mechanism and variation during storage [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2010.
- [31] 曹文明, 薛斌, 陈凤香, 等. 三酰甘油氧化聚合物的制备型快速柱层析-体积排阻色谱测定法[J]. *分析测试学报*, 2012, (08): 933-939.
- Cao WM, Xue B, Chen FX, *et al*. Determination of oxidized triacylglycerol polymers by preparative flash chromatography and high-performance size-exclusion chromatography [J]. *J Instrum Anal*, 2012(08): 933-939.
- [32] 乔发东, 杨红菊, 马长伟. 宣威火腿肌内脂肪的水解与挥发性化合物分析[J]. *河南工业大学学报(自然科学版)*, 2009, (2): 46-50+73.
- Qiao FD, Yang HJ, Ma CW. Lipolysis in Intramuscular Lipids and Analysis in Volatile Compounds of Xuanwei Ham [J]. *J Henan Univ Technol (Nat Sci Edit)*, 2009, (2): 46-50+73.
- [33] Crexi VT, Grunennvaldt FL, Soares LAS, *et al*. Deodorisation process variables for croaker (*M. furnieri*) oil [J]. *Food Chem*, 2009, 114(2): 396-401.
- [34] Vongsivut J, Heraud P, Zhang W, *et al*. Quantitative determination of fatty acid compositions in micro-encapsulated fish-oil supplements using Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy [J]. *Food chem*, 2012, 135(2): 603-609.
- [35] Slater TF. Overview of methods used for detecting lipid peroxidation [J]. *Meth enzymol*, 1984, 105: 283-293.
- [36] Fernández J, Pérez-Álvarez JA, Fernández-López JA. Thiobarbituric acid test for monitoring lipid oxidation in meat [J]. *Food Chem*, 1997, 59(3): 345-353.
- [37] Stine CM, Harland HA, Coulter ST, *et al*. A modified peroxide test for detection of lipid oxidation in dairy products [J]. *J Dairy Sci*, 1954, 37(2): 202-208.
- [38] Shahidi FJ, Yun LJ, Rubin DF. The hexanal content as an Indicator of oxidative stability and flavour acceptability in cooked ground pork [J]. *Can Inst Food Sci Technol J*, 1987. 20(2): 104-106.
- [39] Beltran ER, Pla J, Yuste M. Lipid oxidation of pressurized and cooked chicken: role of sodium chloride and mechanical processing on TBARS and hexanal values[J]. *Meat Sci*, 2003. 64(1): 19-25.
- [40] 陈妹. 风鸭加工过程中脂质变化及其对风味品质影响[D]. 无锡: 江南大学, 2013.
- Chen M. Changes of lipid during processing of dry-cured duck and the effect on flavor quality[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2013.
- [41] Domínguez R, Gómez M, Fonseca S, Lorenzo JM. Influence of thermal treatment on formation of volatile compounds, cooking loss and lipid oxidation in foal meat[J]. *LWT - Food Sci Technol*, 2014. 58(2): 439-445.
- [42] 王艳. 强化高温风干成熟工艺对中式培根脂质分解氧化及品质风味影响的研究[M]. 南京: 南京农业大学, 2012.
- Wang Y. Effect of intensifying high-temperature drying-ripening process on lipolysis and lipid oxidation and quality flavor of chinese bacon [M]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2012.
- [43] 刘丽微, 白卫东, 赵文红, 等. 猪脂控制氧化及其香气成分 GC-MS 分析[J]. *食品与发酵工业*, 2011, (8): 161-165.
- Liu LW, Bai WD, Zhao WH, *et al*. Oxidation control and odors analysis of lard by GC-MS[J]. *Food Ferment Ind*, 2011, (8): 161-165.
- [44] 詹萍. 羊肉特征香气成分的鉴定及其肉味香精的制备[M]. 无锡: 江南大学, 2013.
- Zhan P. Identification of characteristic aroma and preparation of mutton flavor[M]. Wuxi: Jiangnan University, 2013.
- [45] 胡鹏, 张奇志, 邓鹏, 等. 不同处理方式对辐照扒鸡脂肪酸组成及过氧化值的影响[J]. *食品研究与开发*, 2010, (8): 193-195.
- Hu P, Zhang QZ, Deng P, *et al*. Effects of different treatments on fatty acid composition and peroxide values in irradiated braised chicken[J]. *Food Res Dev*, 2010, (8): 193-195.
- [46] 孙灵霞, 任二芳, 赵改名, 等. 油炸过程中煎炸油和鸡肉串的品质变化及其相关性研究[J]. *食品工业科技*, 2014, 35(3): 86-88.
- Sun LX, Ren EF, Zhao GM, *et al*. Quality changes and relativities analysis between frying oil and chicken strings during frying[J]. *Sci Technol Food Ind*, 2014, 35(3): 86-88.
- [47] Takamura H, Hyakumoto N, Endo N, Matoba T. Determination of lipid oxidation in edible oils by near infrared spectroscopy[J]. *J Near Infrared Spec*, 1997, 3(4): 219-225.
- [48] 丁洋. 食用油中磷脂总含量的红外快速检测研究[M]. 杭州: 浙江工业大学, 2013.
- Ding Y. Research on the rapid detection of phospholipids in vegetable oil by MIR spectroscopy[M]. Hangzhou: Zhejiang University of Technology, 2013.
- [49] Martina H, Hariette H. Determination of total polar parts with new methods for the quality survey of frying fats and oils [J]. *Talanta*, 1998, 47: 447-454.
- [50] Siciliano C. Quantitative determination of fatty acid chain composition in pork meat products by high resolution <sup>1</sup>HNMR spectroscopy [J]. *Food Chem*, 2013, 136(2): 546-554.

(责任编辑: 白洪健)

## 作者简介



吴娜, 在读博士, 主要研究方向为水产品风味。  
E-mail: larkspurwin@163.com



王锡昌, 教授, 主要研究方向为食品营养与品质评价。  
E-mail: xcwang@shou.edu.cn