

不同温度处理的风干牛肉贮藏过程中脂肪变化

李宇辉^{1,2}, 王俊钢^{1,2,*}, 刘成江^{1,2,*}, 郭安民^{1,2}, 韩冬印³

(1.新疆农垦科学院农产品加工研究所, 新疆 石河子 832000; 2.新疆农垦科学院农产品加工重点实验室, 新疆 石河子 832000; 3.新疆雨润食品有限责任公司, 新疆 石河子 832000)

摘要:为了研究干燥温度对风干牛肉贮藏过程中脂肪酸组成的变化规律,选取新疆褐牛后腿肉为研究对象,经腌制后分别进行20 °C 48 h、40 °C 20 h、50 °C 12 h、60 °C 8 h的风干处理,冷却后置于4 °C冰箱贮藏,分别在第0、15、30天和第60天取样,检测其pH值、过氧化值、酸价、硫代巴比妥酸反应底物(thiobarbituric acid reaction substrate, TBARS)值、脂肪含量和脂肪酸组成变化。结果表明:随着贮藏时间的延长,pH值先降低后略微升高($P>0.05$) ; 处理温度对脂肪含量影响显著($P<0.05$),而贮藏时间对脂肪含量影响不显著($P>0.05$) ; 相同温度处理的样品过氧化值、酸价和TBARS值随着贮藏时间的延长呈增加的趋势;处理温度对风干牛肉中肌内脂肪酸组成、甘油三酯和磷脂相对含量影响也不明显,但对游离脂肪酸含量影响较明显,且温度越高,游离脂肪酸相对含量越高;与20 °C处理组相比,60 °C处理组样品中游离脂肪酸相对含量在0、15、30、60 d分别增加了0.84%、1.82%、1.45%、1.14%;50、60 °C处理组的样品随着贮藏时间的延长,磷脂脂肪酸中多不饱和脂肪酸(polyunsaturated fatty acid, PUFA)相对含量降低,游离脂肪酸中的PUFA相对含量增加。本实验结果可为阐明不同温度影响风干牛肉加工过程中风味形成的原因提供一定参考。

关键词:风干牛肉; 脂肪酸组成; 脂肪氧化; 贮藏

Effect of Drying Temperature on Fatty Acid Composition in Air-Dried Beef during Chilled Storage

LI Yuhui^{1,2}, WANG Jungang^{1,2,*}, LIU Chengjiang^{1,2,*}, GUO Anmin^{1,2}, HAN Dongyin³

(1. Institute of Agro-products Processing Science and Technology, Xinjiang Academy of Agricultural and Reclamation Science, Shihezi 832000, China; 2. Key Laboratory of Agro-products Processing, Xinjiang Academy of Agricultural and Reclamation Science, Shihezi 832000, China; 3. Yurun Food Limited Company of Xinjiang, Shihezi 832000, China)

Abstract: To investigate the effect of drying temperature on lipid oxidation and fatty acid composition in air-dried beef during chilled storage, beef round from Xinjiang brown cattle was marinated and then air-dried at different temperatures (20 °C for 48 h, 40 °C for 20 h, 50 °C for 12 h, or 60 °C for 8 h). After being cooled down to room temperature, the meat samples were stored in a refrigerator at 4 °C. Sampling occurred on days 0, 15, 30 and 60 for analysis of changes in pH, peroxide value (POV), acid value (AV), thiobarbituric acid reaction substrate (TBARS) value, and the lipid content and fatty acid composition of total intramuscular lipids, phospholipids, triglycerides and free fatty acids. The results showed that the pH value of air-dried beef decreased first and then marginally increased with the prolongation of storage time ($P > 0.05$). Air-drying temperature significantly affected the fat content ($P < 0.05$), whereas storage time had no significant effect ($P > 0.05$). The POV, AV and TBARS value of the samples dried at the same temperatures increased with storage time. Drying temperature had no significant effect on intramuscular fatty acid composition or the contents of triglycerides and phospholipids in air-dried beef, but increasing drying temperature led to marked increases in free fatty acid content. Compared with air drying at 20 °C, the free fatty acid content in the sample dried at 60 °C increased by 0.84%, 1.82%, 1.45%, and 1.14% after 0, 15, 30 and 60 days of storage, respectively. For the samples dried at 50 and 60 °C, a preferential

收稿日期: 2018-08-12

基金项目: 国家自然科学基金地区科学基金项目(31460401; 31860437);

新疆生产建设兵团工业科技攻关与成果转化项目(2015AB023)

第一作者简介: 李宇辉(1986—)(ORCID: 0000-0001-5922-5632), 女, 副研究员, 硕士, 研究方向为畜产品加工。

E-mail: liyuhui615@sina.com

*通信作者简介: 王俊钢(1982—)(ORCID: 0000-0002-5447-5488), 男, 副研究员, 硕士, 研究方向为畜产品加工。

E-mail: wjgong728@126.com

刘成江(1978—)(ORCID: 0000-0001-7413-9273), 男, 副研究员, 硕士, 研究方向为畜产品加工。

E-mail: 75722915@qq.com

hydrolysis of polyunsaturated fatty acids (PUFA) in phospholipids was observed, as demonstrated by a marked decrease in the percentage of PUFA in phospholipids whereas a significant increase in the percentage of PUFA in free fatty acids existed during storage. Therefore, the results of this study provide insights into why air drying temperature can affect flavor formation during the processing of air-dried beef.

Keywords: air-dried beef; fatty acid composition; lipid oxidation; storage

DOI:10.7506/spkx1002-6630-20180812-103

中图分类号: TS251.1

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630 (2019) 13-0014-08

引文格式:

李宇辉, 王俊钢, 刘成江, 等. 不同温度处理的风干牛肉贮藏过程中脂肪变化[J]. 食品科学, 2019, 40(13): 14-21.

DOI:10.7506/spkx1002-6630-20180812-103. <http://www.spkx.net.cn>

LI Yuhui, WANG Jungang, LIU Chengjiang, et al. Effect of drying temperature on fatty acid composition in air-dried beef during chilled storage[J]. Food Science, 2019, 40(13): 14-21. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/spkx1002-6630-20180812-103. <http://www.spkx.net.cn>

风干牛肉是新疆哈萨克族的一种传统肉制品, 其由新鲜牛肉通过切条、腌制后自然风干而成^[1]。这与意大利的bresaola^[2]和土耳其的pastirma^[3]类似, 但不同的是, 这两种肉制品是加工后的熟肉, 新疆哈萨克族传统风干牛肉是生肉, 只有在食用前才进行熟化。新疆远离海洋, 气候多风干燥, 非常有利于风干牛肉的加工, 在这种环境条件下, 加工的风干牛肉味道独特、风味浓郁。

肉制品的风味物质主要是由风干或者成熟过程中蛋白质水解、氨基酸Strecker降解、脂肪分解和脂质氧化所产生^[4]。其中, 脂肪氧化是风干肉风味物质的主要来源, 影响其氧化的因素主要有脂肪分布、加工方法和贮藏条件等^[5], 其中加工温度和贮藏时间对脂质氧化及风味物质的产生至关重要^[6-8]。目前, 新疆风干牛肉仍以传统手工作坊式生产, 国内外学者对新疆风干牛肉的研究相对较少, 主要集中在发酵机理和工艺上的研究^[9-10], 本课题组前期已经完成了脉动压腌制风干肉的研究, 确定了工艺参数^[11-12]。为了更好地研究风干肉后期成熟过程中脂肪氧化及脂肪酸变化, 模拟自然风干, 选取4种干燥温度和时间, 之后于4℃贮藏60 d, 进行贮藏实验, 通过检测脂肪氧化的各项指标, 对脂肪氧化规律进行分析, 从而为风干牛肉加工过程中品质的形成提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

牛肉(新疆褐牛, 2.5岁, 公牛, 后腿)、精制食盐购于石河子市友好超市; 香辛料购于新疆石河子市农贸市场。

2-硫代巴比妥酸(生化试剂)、三氯乙酸(trichloroacetic acid, TCA) 美国Sigma-Aldrich公司; 其他试剂均为国产分析纯; 所用水为双蒸水。

1.2 仪器与设备

SG-5401A型磁力搅拌器 上海硕光电子科技有限公司; JJ-2型组织捣碎机 常州市金坛区环宇科学仪器厂; FA2004AB型万分之一天平 上海右一仪器有限公司; UV-2450紫外-可见分光光度计 日本岛津公司; PHS-3C标准型pH计 上海精密科学仪器有限公司。

1.3 方法

1.3.1 风干牛肉腌制工艺流程

风干牛肉的腌制参考文献[12]。将市场购买回来的新鲜牛肉(剔除筋膜, 分割成5 cm×5 cm×20 cm条状, 每个样品质量约200 g), 检疫后无病变和杂质, 之后清洗, 放入腌制罐中, 倒入已经配制好的腌制液, 将腌制罐密封, 之后按照已确定的工艺参数设定自动控制系统, 开启腌制设备, 共腌制13 h。

腌制液配制: 在100 mL质量分数6.5%食盐水中添加丁香0.25 g、八角1.25 g、肉蔻0.44 g、白芷0.25 g、花椒1.25 g、干辣椒1.25 g, 煮煮30 min, 然后加入灭菌水至煮煮前的体积, 冷却备用。

分别将腌制好的牛肉在鼓风干燥箱中进行不同的风干处理, 处理条件分别为: A组(20℃、48 h)、B组(40℃、20 h)、C组(50℃、12 h)、D组(60℃、8 h), 每组选取5个样品, 处理结束后将4组样品置于4℃环境下贮藏60 d, 并于第0、15、30、60天取样, 检测各项指标。

1.3.2 指标测定

1.3.2.1 pH值的测定

pH值测定参照Wójciak等^[13]的方法。称取样品10.0 g, 剪碎后用新煮沸过的蒸馏水浸泡并转入100 mL容量瓶中定容, 不断振摇, 浸渍30 min, 静置后过滤, 滤液待用。标定pH计后, 电极用滤液冲洗后, 浸入滤液中, 读数。平行测定3次, 结果取平均值。

1.3.2.2 酸价的测定

样品处理参照赵宇明等^[14]的方法：剪取样品10 g，绞碎后置于250 mL具塞碘量瓶中加入30~60 °C沸腾的石油醚80 mL，于4 °C冰箱中浸泡6 h，过滤，取滤液在60 °C水浴锅中挥发干石油醚，得到肉脂备用。按照GB 5009.229—2016《食品安全国家标准 食品中酸价的测定》^[15]方法。酸价表示为中和1 g化学物质所需的KOH的质量，单位为mg/g。

1.3.2.3 过氧化值的测定

样品处理方法同1.3.2.2节。过氧化值测定方法按照GB 5009.227—2016《食品安全国家标准 食品中过氧化值的测定》^[16]的方法。过氧化值表示脂肪酸被氧化程度的一种指标，以1 kg样品中活性氧的过氧化物当量表示，单位为meq/kg。

1.3.2.4 硫代巴比妥酸反应物值的测定

硫代巴比妥酸反应物(thiobarbituric acid reaction substrate value, TBARS)值参照Salih等^[17]的方法测定，准确称取研磨均匀的风干牛肉样品10 g，置于100 mL具塞三角瓶内，加入50 mL 0.75 g/100 mL的三氯乙酸溶液(含0.1 g/100 mL EDTA)，振摇30 min，用双层滤纸过滤，重复用双层滤纸过滤一次。准确移取上述滤液5 mL置于25 mL比色管内，加入5 mL TBA溶液(0.02 mol/L)，混匀。加塞，置于90 °C水浴锅内保温40 min，取出冷却1 h，移入小试管内离心5 min(2 000 r/min)，将上清液倾入25 mL比色管内，加入5 mL氯仿，摇匀，静置，分层后吸出上清液分别在532 nm和600 nm波长处比色(同时做空白实验)，记录吸光度，以每千克肉样中所含的丙二醛质量表示TBARS值，并用下式计算。

$$\text{TBARS值/(mg/kg)} = \frac{(A_{532\text{nm}} - A_{600\text{nm}}) \times 4.68}{m \times 50}$$

式中：m表示样品质量/g。

1.3.2.5 脂肪酸组成的测定

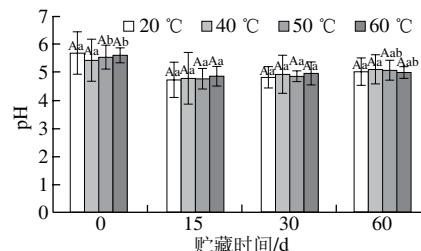
肌内总脂、甘油三酯、磷脂和游离脂肪的甲酯化参考Morrison等^[18]的方法。脂肪酸的组成采用气相色谱仪测定。柱温升温程序为：初始温度160 °C，保持3 min，以10 °C/min升温至200 °C，保持2 min，然后以2 °C/min升温至230 °C，并保持10 min。之后，将1 μL处理后的样品以分流比10:1(V/V)注射到Rtx-Wax毛细管柱(30 m×0.25 mm, 0.25 μm)；其中，进样口温度为250 °C，检测器温度为280 °C，载气(N₂)流量为1.5 mL/min。通过保留时间与标准品保留时间的比较来确定脂肪酸的种类，采用面积归一法确定脂肪酸的量。

1.4 数据统计与分析

实验数据用Excel 2010软件整理，Origin 8.0软件作图，SPSS 18.0软件对数据进行分析，数据结果采用均值±标准差形式，数据差异性采用单因素方差分析中的最小显著差异法，P<0.05表示差异显著。实验均重复3次。

2 结果与分析

2.1 不同干燥温度风干牛肉贮藏过程中pH值变化



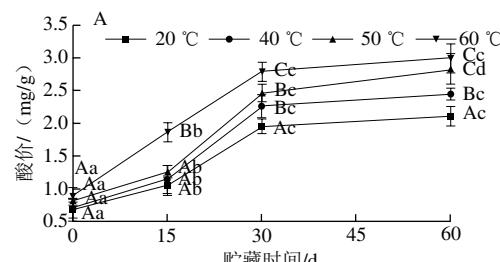
对于同一贮藏时间，不同干燥温度大写字母不同表示差异显著(P<0.05)；对于同一干燥温度，不同贮藏时间小写字母不同表示差异显著(P<0.05)。下同。

图1 干燥温度对风干牛肉pH值的影响

Fig. 1 Effect of drying temperature on pH value of air-dried beef

由图1可知，风干肉pH值随着贮藏时间延长先不断降低，后期略微升高，但0 d后pH值基本都处于5以下。处理温度对pH值的影响不显著(P>0.05)。20、40 °C处理组样品在整个贮藏期pH值变化均不显著(P>0.05)；50、60 °C处理组样品在贮藏的前30 d pH值变化显著(P<0.05)。所有样品在贮藏第15天，pH值都降到最低，20、40、50、60 °C处理组分别为4.75、4.79、4.78、4.86；第60天，各组样品pH值之间差异不显著(P>0.05)。有研究表明，发酵肉制品pH值下降的原因可能是发酵过程中乳酸菌的大量繁殖产生了乳酸^[19]。而Petit等^[20]则认为，在发酵初期，肉中pH值的降低可能跟动物细胞中糖原分解有关，肌肉成熟过程中，糖原经过无氧发酵生成乳酸，之后再被微生物利用分解成乙酸，这一系列化学变化导致了肉中pH值的降低。后期pH值略微升高，则可能是肉中水分含量的不断减少和蛋白质的缓冲作用引起的^[21]，也可能是后期风干肉中的优势微生物发生变化，乳酸菌由原来的优势菌变成劣势菌群，葡萄球菌和微球菌开始大量繁殖，这些微生物有很强的分解蛋白能力，从而使得pH值略有升高^[22]。

2.2 不同干燥温度风干牛肉贮藏过程中酸价、过氧化值、TBARS值变化



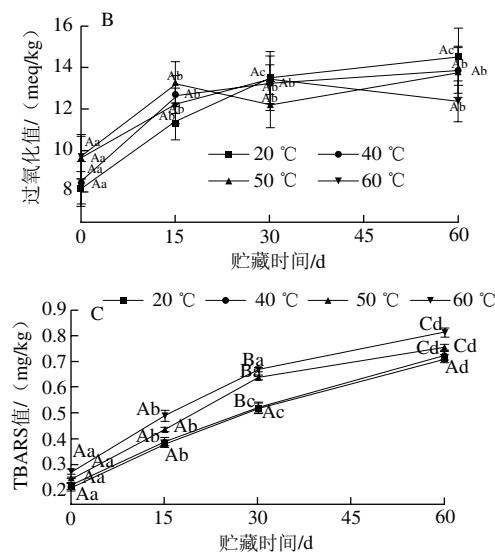


图2 干燥温度对风干牛肉贮藏过程中酸价(A)、过氧化值(B)、TBARS值(C)变化的影响

Fig. 2 Effect of drying temperature on changes in AV (A), POV (B) and TBARS value (C) of air-dried beef during storage

酸价大小代表样品中游离脂肪酸总量的多少。从图2A可以看出,不同温度处理组牛肉在第0天时,酸价差异不显著($P>0.05$),但随着贮藏时间的延长,各组样品的酸价均有所增加,且在第15天起增加的速率增大,第30天后,酸价增加速率放缓,这可能是由于风干后的牛肉在贮藏15 d后,一些内源微生物发酵产生了脂肪酶,造成脂肪分解,从而导致大量的游离脂肪酸积累,酸价升高,这些变化有利于风干牛肉风味物质的产生^[23]。

过氧化物是脂类物质氧化后的第一个中间产物,性质极其不稳定,可分解为酸、醛和酮等小分子物质^[24],因此可以从其值的大小判断脂肪氧化的程度。从图2B可以看出,各组样品在贮藏前期,过氧化值都是随着时间的延长而不断增加,且干燥温度对各组样品过氧化值影响不显著($P>0.05$)。干燥温度相同时,随着贮藏时间延长样品过氧化值呈增加趋势,尤其在贮藏的第15天,40 °C组和50 °C组与贮藏0 d相比分别增加了4.23 meq/kg和4.59 meq/kg,这可能是这段时间内游离脂肪酸被快速氧化所导致。15 d后,除50 °C组和60 °C组样品分别在15~30 d和30~60 d范围内过氧化值有所下降,其他两组都是随着时间延长

而不断增加。脂肪酸被氧化,中间产物会不断积累,从而导致过氧化值增加,但其性质极其不稳定,会在短时间内被重新分解成小分子物质,而降低过氧化值。有研究表明,适量的过氧化值有利于风干牛肉风味的形成,过量则会导致不良的哈败味形成^[25]。

TBARS值是含脂肪类物质在贮藏加工过程中脂肪氧化的重要分析指标^[26]。TBARS值反映了油脂中不饱和脂肪酸氧化分解所产生的次级物与丙二醛反应的结果,能表征脂肪次级氧化程度的高低^[27-28]。从图2C可以看出,不同温度处理后的风干牛肉在贮藏过程中随着时间的延长,TBARS值不断增加($P<0.05$),这可能是由于丙二醛作为脂肪酸氧化的中间产物,经过长时间的积累,导致TBARS值增加;但在相同时间内不同处理组样品之间TBARS值总体差异不大。温度虽然对脂肪氧化有一定的影响,但在本实验中,温度作为前期处理风干牛肉的基础条件,对脂肪氧化过程中自由基释放量影响不明显,即在第0天各组样品TBARS值之间无显著差异($P>0.05$),可能与样品处理时间过短有关,这与王强^[29]的研究结果有一定的不同。

2.3 不同干燥温度对风干牛肉贮藏过程中脂肪含量及组成的影响

由表1可以看出,贮藏温度对风干牛肉肌内脂肪含量影响显著($P<0.05$),而相同处理温度条件下,贮藏时间对肌内脂肪含量影响不显著($P>0.05$)。温度对风干牛肉游离脂肪酸相对含量影响显著($P<0.05$)。与20 °C处理组相比,60 °C处理组样品中游离脂肪酸相对含量在0、15、30、60 d分别增加了0.84%、1.82%、1.45%、1.14%;当风干温度为50 °C时,游离脂肪酸相对含量只在贮藏前期变化显著($P<0.05$),甘油三酯和磷脂相对含量在整个贮藏过程中变化均不显著($P>0.05$)。当风干温度为20 °C时,随着贮藏时间延长,肌内脂肪含量由原来的3.67 g/100 g(0 d)下降到3.59 g/100 g(60 d),但变化不显著($P>0.05$),甘油三酯相对含量没有发生显著变化($P>0.05$),磷脂和游离脂肪酸相对含量变化不明显。有研究表明,肉中磷脂和游离脂肪酸相对含量之间存在着密切的联系,且随着贮藏时间的延长,游离脂肪酸相对含量增加,磷脂相对含量降低,这说明游离

表1 不同处理对样品贮藏过程中脂肪含量及组成的影响

Table 1 Effect of drying temperature on lipid content and composition in air-dried beef samples during storage

种类	0 d				15 d				30 d				60 d			
	20 °C	40 °C	50 °C	60 °C	20 °C	40 °C	50 °C	60 °C	20 °C	40 °C	50 °C	60 °C	20 °C	40 °C	50 °C	60 °C
肌内脂肪含量/(g/100 g)	3.67±0.14 ^{Ab}	3.38±0.12 ^{Ab}	4.01±0.08 ^{Ca}	3.76±0.11 ^{Ba}	3.68±0.11 ^{Ba}	3.39±0.07 ^{Ab}	3.94±0.10 ^{Ca}	3.81±0.09 ^{Ba}	3.62±0.12 ^{Ba}	3.34±0.09 ^{Ab}	3.87±0.11 ^{Ca}	3.73±0.12 ^{Ca}	3.59±0.12 ^{Ba}	3.31±0.07 ^{Ab}	3.84±0.14 ^{Ca}	3.79±0.09 ^{BCa}
甘油三酯相对含量/%	76.72±0.98 ^{Ab}	76.74±1.02 ^{Ab}	76.05±0.81 ^{Ab}	76.31±0.84 ^{Ab}	76.84±0.93 ^{Ab}	76.87±1.02 ^{Ab}	77.98±1.27 ^{Ab}	76.42±1.15 ^{Ab}	76.74±0.99 ^{Ab}	76.37±1.19 ^{Ab}	76.54±1.17 ^{Ab}	76.48±1.21 ^{Ab}	77.03±1.16 ^{Ab}	75.68±1.43 ^{Ab}	77.12±0.78 ^{Ab}	76.73±1.12 ^{Ab}
磷脂相对含量/%	20.54±1.06 ^{Ab}	20.73±0.93 ^{Ab}	19.53±0.94 ^{Ab}	20.11±0.73 ^{Ab}	20.78±0.26 ^{Ab}	20.61±0.78 ^{Ab}	18.24±1.02 ^{Ab}	19.38±0.89 ^{Ab}	20.15±0.74 ^{Ab}	20.98±1.03 ^{Ab}	19.47±0.97 ^{Ab}	18.86±1.02 ^{Ab}	19.21±0.73 ^{Ab}	19.92±1.03 ^{Ab}	18.96±1.13 ^{Ab}	18.37±0.87 ^{Ab}
游离脂肪酸相对含量/%	2.74±0.18 ^{Ab}	2.53±0.14 ^{Ab}	3.12±0.09 ^{Ab}	3.58±0.12 ^{Ca}	2.38±0.13 ^{Ab}	2.52±0.08 ^{Ab}	3.78±0.17 ^{Ab}	4.20±0.15 ^{Ab}	3.11±0.11 ^{Ab}	2.65±0.16 ^{Ab}	3.99±0.13 ^{Ab}	4.56±0.19 ^{Ab}	3.76±0.51 ^{Ab}	4.40±1.01 ^{Ab}	3.92±0.47 ^{Ab}	4.90±0.21 ^{Ab}

注: 相同贮藏时间、不同干燥温度大写字母不同表示差异显著($P<0.05$); 相同干燥温度、不同贮藏时间小写字母不同表示表示差异显著($P<0.05$)。下同。

脂肪酸大部分是由磷脂降解产生的^[30-32]。60 °C 处理的牛肉，磷脂相对含量降低了8.65%，这可能是高温导致了细胞壁破损，使得磷脂更容易受到金属离子或者其他催化剂的影响，而变得更容易被水解氧化^[33]。4个温度处理的样品在贮藏过程中游离脂肪酸相对含量均显著增加($P<0.05$)；相同贮藏时间条件下，样品的处理温度越高，游离脂肪酸相对含量越高，这可能是由于高温促进了风干肉中游离脂肪酸的生成，从而导致游离脂肪酸相对含量的增加，这一结果与温度对TBARS值影响的变化规律一致。

处理温度对风干牛肉肌内总脂肪酸组成的总体影响不大(表2)。在第0、15天时，银杏酸(C_{15:0})相对含量在60 °C处理组样品中最高；第0天时，20 °C处理的样品中花生酸(C_{20:0})的相对含量和40 °C处理样品之间差异显著($P<0.05$)；第30天时，40 °C处理的样品中花生酸(C_{20:0})的比例和60 °C处理的样品之间差异显著($P<0.05$)；第30天时，60 °C处理的样品中二十碳五烯酸(C_{20:5})的相对含量显著低于40、50 °C组($P<0.05$)。相同温度条件下，贮藏时间对总脂肪酸组成中的银杏酸(C_{15:0})、棕榈酸(C_{16:0})、硬

表2 不同处理对样品贮藏过程中肌内各脂肪酸相对含量的影响

Table 2 Effect of drying temperature on fatty acid composition of total intramuscular lipids in air-dried beef samples during storage

脂肪酸种类	0 d				15 d				30 d				60 d				%
	20 °C	40 °C	50 °C	60 °C	20 °C	40 °C	50 °C	60 °C	20 °C	40 °C	50 °C	60 °C	20 °C	40 °C	50 °C	60 °C	
C _{14:0}	2.65±0.23 ^a	2.63±0.14 ^a	2.58±0.23 ^a	2.61±0.18 ^a	2.54±0.32 ^a	2.58±0.24 ^a	2.69±0.38 ^a	2.79±0.42 ^a	2.55±0.27 ^a	2.51±0.31 ^a	2.48±0.18 ^a	2.38±0.27 ^a	2.43±0.15 ^a	2.38±0.12 ^a	2.36±0.21 ^a	2.30±0.18 ^a	
C _{15:0}	0.42±0.03 ^{Ab}	0.41±0.02 ^{Ab}	0.38±0.04 ^a	0.45±0.03 ^{Bb}	0.44±0.07 ^a	0.38±0.03 ^a	0.42±0.06 ^a	0.45±0.06 ^a	0.40±0.09 ^a	0.38±0.11 ^a	0.37±0.07 ^a	0.32±0.08 ^a	0.34±0.11 ^a	0.32±0.07 ^a	0.36±0.05 ^a	0.37±0.04 ^{Ab}	
C _{16:0}	29.36±1.15 ^{Ab}	29.33±0.89 ^{Ab}	28.64±0.57 ^a	28.55±1.03 ^a	28.45±0.95 ^{Ab}	27.94±0.38 ^{Ab}	28.63±1.15 ^a	27.87±0.88 ^a	27.33±1.28 ^{Ab}	27.49±0.84 ^a	28.14±0.87 ^a	27.56±1.47 ^a	26.84±1.14 ^a	27.14±0.84 ^a	27.93±1.17 ^a	27.04±1.29 ^a	
C _{17:0}	0.92±0.09 ^{Ab}	0.98±0.04 ^{ab}	0.89±0.03 ^{Ab}	0.95±0.02 ^{Ab}	0.83±0.06 ^{Ab}	0.88±0.01 ^{Ab}	0.84±0.07 ^{Ab}	0.83±0.03 ^{Ab}	0.81±0.07 ^{Ab}	0.79±0.04 ^a	0.83±0.02 ^{Ab}	0.85±0.05 ^{Ab}	0.76±0.04 ^a	0.78±0.09 ^a	0.72±0.03 ^a	0.69±0.07 ^a	
C _{18:0}	16.54±1.32 ^a	16.38±0.29 ^a	17.15±0.84 ^{Ab}	17.23±1.07 ^a	16.33±0.84 ^a	16.15±0.74 ^a	15.84±0.92 ^{Ab}	16.11±1.21 ^a	16.32±0.76 ^a	15.84±0.96 ^a	16.01±0.77 ^{Ab}	15.93±1.13 ^a	15.43±1.28 ^a	15.36±0.79 ^a	15.04±0.98 ^a	15.23±1.17 ^a	
C _{20:0}	0.24±0.02 ^a	0.35±0.03 ^{Bb}	0.32±0.05 ^{Ab}	0.27±0.08 ^{Ab}	0.22±0.03 ^a	0.27±0.06 ^{Ab}	0.24±0.04 ^a	0.31±0.05 ^a	0.26±0.02 ^{Ab}	0.33±0.04 ^{Ab}	0.28±0.07 ^{Ab}	0.24±0.03 ^{Ab}	0.18±0.07 ^a	0.21±0.03 ^a	0.22±0.09 ^a	0.19±0.04 ^a	
C _{14:1}	0.67±0.14 ^a	0.58±0.03 ^{Ab}	0.62±0.07 ^{Ab}	0.71±0.04 ^{Ab}	0.61±0.08 ^a	0.58±0.07 ^{Ab}	0.63±0.04 ^{Ab}	0.62±0.08 ^{Ab}	0.58±0.12 ^a	0.49±0.05 ^{Ab}	0.48±0.07 ^a	0.51±0.06 ^a	0.53±0.04 ^a	0.48±0.06 ^a	0.46±0.07 ^a	0.51±0.05 ^a	
C _{16:1}	3.74±0.38 ^a	3.78±0.25 ^a	3.69±0.15 ^a	3.77±0.21 ^a	3.52±0.24 ^a	3.57±0.36 ^a	3.68±0.18 ^a	3.70±0.26 ^a	3.62±0.11 ^a	3.58±0.14 ^a	3.51±0.24 ^a	3.52±0.14 ^a	3.48±0.35 ^a	3.47±0.24 ^a	3.49±0.21 ^a	3.46±0.18 ^a	
C _{18:1}	37.45±2.38 ^a	37.35±1.12 ^a	37.58±1.26 ^a	37.21±0.78 ^a	37.67±1.37 ^a	37.24±1.48 ^a	38.06±0.84 ^a	37.91±0.87 ^a	37.76±0.77 ^a	37.56±1.15 ^a	37.65±1.27 ^a	37.18±1.43 ^a	38.18±0.78 ^a	37.78±0.65 ^a	37.29±0.87 ^a	38.19±2.01 ^a	
C _{18:2}	4.03±0.52 ^{Ab}	4.31±0.48 ^a	4.18±0.17 ^a	4.06±0.33 ^a	5.28±0.32 ^{Ab}	6.17±0.28 ^{Ab}	4.88±0.36 ^a	5.27±0.21 ^{Ab}	6.05±0.43 ^a	6.80±0.36 ^{Ab}	5.93±0.22 ^{Ab}	7.31±0.47 ^{Ab}	7.53±0.31 ^{Ab}	7.79±0.24 ^a	7.76±0.27 ^{Ab}	7.71±0.37 ^a	
C _{18:3}	1.76±0.21 ^a	1.78±0.15 ^a	1.74±0.23 ^a	1.83±0.19 ^a	1.81±0.14 ^a	1.83±0.28 ^a	1.79±0.16 ^a	1.82±0.24 ^a	1.95±0.14 ^a	1.84±0.23 ^a	1.87±0.16 ^a	1.91±0.38 ^a	1.86±0.17 ^a	1.84±0.27 ^a	1.93±0.11 ^a	1.89±0.21 ^a	
C _{20:3}	0.63±0.11 ^a	0.58±0.09 ^a	0.64±0.07 ^a	0.71±0.04 ^a	0.69±0.07 ^a	0.74±0.12 ^a	0.66±0.08 ^{Ab}	0.70±0.05 ^a	0.72±0.09 ^a	0.73±0.04 ^a	0.76±0.05 ^{Ab}	0.69±0.07 ^a	0.74±0.03 ^a	0.75±0.05 ^a	0.77±0.04 ^a	0.69±0.07 ^a	
C _{20:4}	0.77±0.13 ^a	0.75±0.09 ^a	0.78±0.10 ^a	0.81±0.09 ^a	0.78±0.09 ^a	0.82±0.07 ^a	0.84±0.02 ^a	0.76±0.03 ^a	0.81±0.06 ^a	0.79±0.06 ^a	0.81±0.07 ^a	0.84±0.06 ^a	0.82±0.06 ^a	0.88±0.05 ^a	0.83±0.04 ^a	0.87±0.06 ^a	
C _{20:5}	0.82±0.07 ^a	0.79±0.06 ^a	0.81±0.09 ^a	0.84±0.03 ^{Ab}	0.83±0.09 ^a	0.85±0.03 ^a	0.83±0.11 ^a	0.86±0.04 ^{Ab}	0.84±0.06 ^a	0.87±0.04 ^a	0.88±0.07 ^a	0.76±0.03 ^a	0.88±0.09 ^a	0.82±0.03 ^a	0.84±0.02 ^a	0.86±0.07 ^a	
SFA	50.13±1.58 ^{Ab}	50.08±2.14 ^{Ab}	49.96±2.06 ^a	50.06±2.09 ^{Ab}	48.81±1.18 ^a	48.20±1.38 ^{Ab}	48.66±1.36 ^{Ab}	48.36±2.33 ^{Ab}	47.67±1.42 ^{Ab}	47.34±1.64 ^a	48.11±1.71 ^{Ab}	47.28±1.28 ^{Ab}	45.98±1.69 ^a	46.19±1.54 ^a	46.63±1.33 ^a	45.82±1.71 ^a	
MUFA	41.86±0.74 ^a	41.71±1.27 ^a	41.89±0.86 ^a	41.69±0.87 ^a	41.80±0.98 ^a	41.39±0.93 ^a	42.37±1.21 ^a	42.23±1.32 ^a	41.96±1.14 ^a	41.63±1.03 ^a	41.64±0.86 ^a	41.21±1.12 ^a	42.19±1.01 ^a	41.73±0.88 ^a	41.24±0.85 ^a	42.16±1.21 ^a	
PUFA	8.01±0.98 ^a	8.21±0.35 ^a	8.15±0.62 ^a	8.25±0.11 ^a	9.39±1.02 ^{Ab}	10.41±0.11 ^a	8.97±0.84 ^a	9.41±0.91 ^a	10.37±1.20 ^{Ab}	11.03±1.03 ^{Ab}	10.25±0.96 ^{Ab}	11.51±1.04 ^a	11.83±0.67 ^a	12.08±0.58 ^a	12.13±1.12 ^a	12.02±1.31 ^a	

表3 不同处理对样品贮藏过程中甘油三酯脂肪酸相对含量的影响

Table 3 Effect of drying temperature on fatty acid composition of triglycerides in air-dried beef samples during storage

脂肪酸种类	0 d				15 d				30 d				60 d				%
	20 °C	40 °C	50 °C	60 °C	20 °C	40 °C	50 °C	60 °C	20 °C	40 °C	50 °C	60 °C	20 °C	40 °C	50 °C	60 °C	
C _{14:0}	1.95±0.23 ^a	1.93±0.11 ^a	1.95±0.17 ^a	1.94±0.09 ^a	1.93±0.21 ^a	1.97±0.05 ^a	1.96±0.03 ^a	1.93±0.07 ^a	1.92±0.22 ^a	1.94±0.13 ^a	1.93±0.06 ^a	1.95±0.04 ^a	1.96±0.12 ^a	1.92±0.11 ^a	1.97±0.20 ^a	1.93±0.17 ^a	
C _{15:0}	0.24±0.03 ^a	0.19±0.03 ^a	0.21±0.05 ^a	0.23±0.02 ^a	0.21±0.07 ^a	0.19±0.02 ^a	0.22±0.04 ^a	0.24±0.07 ^a	0.23±0.06 ^a	0.21±0.07 ^a	0.23±0.02 ^a	0.20±0.06 ^a	0.25±0.01 ^a	0.23±0.05 ^a	0.21±0.02 ^a	0.23±0.04 ^a	
C _{16:0}	27.31±0.83 ^{Ab}	27.33±0.21 ^a	27.15±0.04 ^a	26.45±0.33 ^{Ab}	28.11±0.41 ^{Ab}	26.35±0.47 ^a	27.43±0.61 ^a	26.14±0.23 ^a	26.38±0.44 ^a	27.11±0.56 ^a	27.23±0.48 ^a	26.87±0.27 ^{Ab}	27.15±0.46 ^{Ab}	27.33±0.65 ^a	26.84±0.37 ^a	27.19±0.28 ^a	
C _{17:0}	0.89±0.07 ^{Ab}	0.88±0.03 ^a	0.88±0.04 ^a	0.87±0.02 ^a	0.84±0.03 ^{Ab}	0.83±0.02 ^a	0.84±0.02 ^a	0.82±0.05 ^a	0.82±0.03 ^{Ab}	0.83±0.02 ^a	0.82±0.05 ^a	0.82±0.02 ^a	0.79±0.03 ^a	0.82±0.07 ^a	0.84±0.03 ^a	0.82±0.02 ^a	
C _{18:0}	13.17±0.17 ^{Ab}	13.27±0.21 ^a	13.41±0.23 ^a	14.01±0.16 ^a	13.34±0.27 ^a	14.89±0.13 ^{Ab}	13.84±0.19 ^{Ab}	14.47±0.11 ^a	14.59±0.22 ^a	13.49±0.23 ^a	13.32±0.15 ^a	14.12±0.17 ^{Ab}	13.84±0.11 ^a	13.64±0.13 ^a	14.06±0.09 ^{Ab}	13.75±0.12 ^a	
C _{20:0}	0.21±0.03 ^a	0.19±0.03 ^a	0.18±0.04 ^a	0.17±0.03 ^a	0.18±0.02 ^a	0.20±0.07 ^a	0.19±0.04 ^a	0.18±0.03 ^a	0.20±0.04 ^a	0.19±0.01 ^a	0.18±0.03 ^a	0.19±0.02 ^a	0.18±0.03 ^a	0.19±0.02 ^a	0.18±0.04 ^a	0.19±0.06 ^a	
C _{20:1}	0.35±0.02 ^a	0.32±0.03 ^a	0.33±0.06 ^a	0.34±0.02 ^a	0.34±0.07 ^a	0.34±0.03 ^a	0.32±0.05 ^a	0.32±0.02 ^a	0.33±0.05 ^a	0.32±0.07 ^a	0.30±0.01 ^a	0.30±0.04 ^a	0.31±0.06 ^a	0.29±0.07 ^a	0.27±0.11 ^a	0.26±0.02 ^a	
C _{20:2}	3.52±0.12 ^a	3.49±0.21 ^a	3.48±0.17 ^a	3.39±0.13 ^a	3.42±0.17 ^a	3.39±0.22 ^a	3.37±0.14 ^a	3.32±0.19 ^a	3.38±0.11 ^a	3.37±0.09 ^a	3.34±0.15 ^a	3.33±0.18 ^a	3.32±0.21 ^a	3.26±0.15 ^a	3.14±0.20 ^a	3.00±0.43 ^a	
C _{20:3}	46.32±1.12 ^a	46.35±0.17 ^a	46.27±0.16 ^a	46.37±0.87 ^a	45.34±1.02 ^a	45.59±0.91 ^a	45.63±0.84 ^a	46.30±0.36 ^a	45.75±0.74 ^a	46.36±0.31 ^a	46.25±0.26 ^a	45.79±0.33 ^a	45.78±1.27 ^a	45.98±1.17 ^a	46.12±0.98 ^a	46.23±1.87 ^a	
C _{18:2}	2.65±0.11 ^a	2.67±0.17 ^a	2.66±0.34 ^a	2.71±0.22 ^a	2.69±0.23 ^a	2.70±0.19 ^a	2.72±0.33 ^a	2.75±0.									

脂酸($C_{18:0}$)、珍珠酸($C_{17:0}$)、花生酸($C_{20:0}$)、十四碳烯酸($C_{14:1}$)、亚油酸($C_{18:2}$)、二十碳三烯酸($C_{20:3}$)、二十碳五烯酸($C_{20:5}$)有影响,且对饱和脂肪酸(saturated fatty acid, SFA)和多不饱和脂肪酸(polyunsaturated fatty acid, PUFA)的相对含量影响显著($P<0.05$),对单不饱和脂肪酸(monounsaturated fatty acids, MUFA)相对含量无显著影响。

表3为不同温度处理风干牛肉贮藏过程中甘油三酯脂肪酸组成的影响。温度仅对棕榈酸($C_{16:0}$)和硬脂酸

($C_{18:0}$)相对含量有一定影响,对其他脂肪酸的相对含量无显著影响,这与周慧敏等^[34]的研究结果相似。在相同处理温度条件下,贮藏时间对棕榈酸($C_{16:0}$)、硬脂酸($C_{18:0}$)、十四碳烯酸($C_{14:1}$)、棕榈油酸($C_{16:1}$)和亚麻酸($C_{18:3}$)相对含量有一定影响,对其他脂肪酸相对含量影响不大,且温度和贮藏时间都对SFA、MUFA和PUFA相对含量影响均不显著($P>0.05$)。

不同温度处理风干牛肉贮藏过程中肌内磷脂脂肪酸变化规律显示(表4),处理温度和贮藏时间对棕榈酸($C_{16:0}$)、油酸($C_{18:1}$)、亚油酸($C_{18:2}$)和花生四烯酸

表4 不同处理对样品贮藏过程中磷脂脂肪酸相对含量的影响

Table 4 Effect of drying temperature on fatty acid composition of phospholipids in air-dried beef samples during storage

脂肪酸种类	0 d				15 d				30 d				60 d				%
	20 °C	40 °C	50 °C	60 °C	20 °C	40 °C	50 °C	60 °C	20 °C	40 °C	50 °C	60 °C	20 °C	40 °C	50 °C	60 °C	
$C_{14:0}$	1.27±0.07 ^a	1.25±0.11 ^a	1.26±0.13 ^a	1.25±0.21 ^a	1.24±0.13 ^a	1.23±0.17 ^a	1.22±0.21 ^a	1.23±0.18 ^a	1.22±0.17 ^a	1.21±0.13 ^a	1.23±0.11 ^a	1.22±0.17 ^a	1.18±0.07 ^a	1.19±0.17 ^a	1.17±0.14 ^a	1.18±0.12 ^a	
$C_{15:0}$	0.22±0.03 ^a	0.21±0.02 ^a	0.21±0.03 ^a	0.20±0.06 ^a	0.21±0.07 ^a	0.19±0.03 ^a	0.20±0.05 ^a	0.18±0.04 ^a	0.20±0.03 ^a	0.19±0.04 ^a	0.19±0.07 ^a	0.18±0.03 ^a	0.17±0.02 ^a	0.15±0.04 ^a	0.16±0.03 ^a	0.14±0.02 ^a	
$C_{16:0}$	19.36±0.24 ^a	19.32±0.31 ^a	20.34±0.27 ^b	21.33±0.18 ^c	19.31±0.21 ^a	19.32±0.19 ^a	19.85±0.09 ^b	21.03±0.15 ^a	19.29±0.25 ^a	20.26±0.22 ^b	20.84±0.19 ^c	21.27±0.34 ^a	19.20±0.22 ^a	19.58±0.24 ^a	21.14±0.14 ^b	21.15±0.17 ^b	
$C_{17:0}$	0.84±0.11 ^a	0.82±0.14 ^a	0.83±0.17 ^a	0.81±0.24 ^a	0.81±0.27 ^a	0.82±0.11 ^a	0.81±0.09 ^a	0.80±0.07 ^a	0.77±0.03 ^a	0.75±0.05 ^a	0.78±0.07 ^a	0.77±0.02 ^a	0.75±0.04 ^a	0.72±0.06 ^a	0.74±0.05 ^a	0.75±0.07 ^a	
$C_{18:0}$	12.67±0.14 ^a	12.64±0.27 ^a	12.63±0.34 ^a	12.61±0.23 ^a	12.58±0.22 ^a	12.54±0.17 ^a	12.53±0.20 ^a	12.49±0.22 ^a	12.54±0.23 ^a	12.52±0.15 ^a	12.53±0.27 ^a	12.48±0.33 ^a	12.47±0.24 ^a	12.42±0.31 ^a	12.44±0.27 ^a	12.43±0.22 ^a	
$C_{20:0}$	0.23±0.06 ^a	0.22±0.07 ^a	0.22±0.03 ^a	0.21±0.04 ^a	0.20±0.07 ^a	0.19±0.03 ^a	0.18±0.05 ^a	0.19±0.02 ^a	0.17±0.05 ^a	0.18±0.03 ^a	0.18±0.04 ^a	0.17±0.03 ^a	0.15±0.02 ^a	0.14±0.03 ^a	0.14±0.04 ^a	0.13±0.02 ^a	
$C_{14:1}$	0.46±0.07 ^a	0.45±0.05 ^a	0.48±0.07 ^a	0.44±0.11 ^a	0.45±0.03 ^a	0.43±0.05 ^a	0.44±0.05 ^a	0.42±0.08 ^a	0.43±0.07 ^a	0.44±0.05 ^a	0.45±0.03 ^a	0.46±0.04 ^a	0.45±0.02 ^a	0.44±0.05 ^a	0.46±0.03 ^a	0.44±0.02 ^a	
$C_{16:1}$	3.51±0.21 ^a	3.57±0.15 ^a	3.45±0.23 ^a	3.54±0.31 ^a	3.45±0.11 ^a	3.55±0.17 ^a	3.48±0.21 ^a	3.52±0.14 ^a	3.53±0.18 ^a	3.55±0.24 ^a	3.52±0.17 ^a	3.51±0.23 ^a	3.48±0.11 ^a	3.46±0.21 ^a	3.53±0.18 ^a	3.52±0.09 ^a	
$C_{18:1}$	19.27±0.32 ^a	19.38±0.24 ^a	19.87±0.11 ^b	20.25±0.23 ^a	19.33±0.24 ^a	19.41±0.15 ^a	20.34±0.23 ^b	21.26±0.35 ^b	19.28±0.19 ^a	19.55±0.22 ^a	20.27±0.23 ^b	20.30±0.11 ^a	19.32±0.27 ^a	19.35±0.18 ^a	20.29±0.21 ^b	21.33±0.24 ^b	
$C_{18:2}$	29.88±0.21 ^c	29.75±0.19 ^c	28.83±0.24 ^b	27.97±0.12 ^a	30.03±0.14 ^c	29.87±0.23 ^b	29.09±0.16 ^b	28.10±0.21 ^a	30.08±0.31 ^a	29.29±0.23 ^c	28.53±0.14 ^b	27.99±0.25 ^a	30.21±0.11 ^c	30.30±0.21 ^c	28.31±0.32 ^b	27.71±0.27 ^a	
$C_{18:3}$	1.63±0.04 ^a	1.62±0.14 ^a	1.69±0.13 ^a	1.71±0.15 ^a	1.66±0.21 ^a	1.69±0.13 ^a	1.63±0.11 ^a	1.70±0.23 ^a	1.72±0.18 ^a	1.74±0.21 ^a	1.70±0.15 ^a	1.75±0.19 ^a	1.68±0.07 ^a	1.71±0.05 ^a	1.69±0.03 ^a	1.74±0.05 ^a	
$C_{20:3}$	0.34±0.03 ^a	0.36±0.05 ^b	0.38±0.04 ^a	0.33±0.07 ^a	0.41±0.05 ^a	0.39±0.03 ^a	0.41±0.02 ^a	0.38±0.04 ^a	0.36±0.08 ^a	0.33±0.06 ^a	0.35±0.04 ^a	0.38±0.07 ^a	0.42±0.03 ^a	0.44±0.07 ^b	0.43±0.04 ^a	0.45±0.06 ^a	
$C_{20:4}$	9.77±0.26 ^c	9.82±0.14 ^b	9.28±0.23 ^b	8.81±0.17 ^c	9.80±0.14 ^c	9.83±0.22 ^b	9.32±0.09 ^b	8.12±0.16 ^a	9.85±0.26 ^c	9.42±0.15 ^b	8.84±0.21 ^a	8.89±0.18 ^c	9.93±0.17 ^b	9.50±0.14 ^c	8.92±0.12 ^b	8.49±0.22 ^b	
$C_{20:5}$	0.55±0.03 ^a	0.59±0.04 ^a	0.53±0.06 ^a	0.54±0.09 ^a	0.52±0.07 ^a	0.54±0.03 ^a	0.55±0.04 ^a	0.58±0.03 ^a	0.56±0.05 ^a	0.57±0.03 ^a	0.59±0.02 ^a	0.62±0.02 ^a	0.59±0.04 ^a	0.60±0.03 ^a	0.58±0.05 ^a	0.54±0.03 ^a	
SFA	34.59±0.11 ^a	34.46±0.97 ^a	35.49±0.88 ^a	36.41±1.38 ^a	34.35±0.74 ^a	34.29±0.93 ^a	34.79±1.38 ^a	35.92±1.63 ^a	34.19±1.76 ^a	35.11±0.95 ^a	35.75±0.88 ^a	36.09±1.47 ^a	33.92±0.84 ^a	34.20±0.87 ^a	35.79±1.28 ^a	35.78±1.29 ^a	
MUFA	23.24±0.46 ^a	23.40±0.57 ^a	23.80±1.05 ^a	24.23±0.77 ^a	23.23±0.84 ^a	23.39±1.16 ^a	24.26±0.84 ^b	25.20±0.79 ^a	23.24±0.87 ^a	23.54±1.31 ^a	24.24±0.39 ^a	24.27±1.03 ^a	23.25±0.86 ^a	23.25±0.47 ^a	24.28±0.73 ^a	25.29±0.95 ^a	
PUFA	42.17±2.31 ^a	42.14±2.17 ^a	40.71±1.35 ^a	39.36±1.84 ^a	42.42±0.98 ^a	42.32±1.22 ^a	40.95±1.75 ^a	38.88±1.54 ^a	42.57±1.78 ^a	41.35±2.11 ^a	40.01±1.84 ^a	39.64±1.29 ^a	42.83±1.85 ^a	42.55±1.53 ^a	39.93±1.31 ^a	38.93±1.77 ^a	

表5 不同处理对样品贮藏过程中游离脂肪酸相对含量的影响

Table 5 Effect of drying temperature on free fatty acids in air-dried beef samples during storage

脂肪酸种类	0 d				15 d				30 d				60 d				%
	20 °C	40 °C	50 °C	60 °C	20 °C	40 °C	50 °C	60 °C	20 °C	40 °C	50 °C	60 °C	20 °C	40 °C	50 °C	60 °C	
$C_{14:0}$	1.76±0.03 ^a	1.64±0.12 ^a	1.65±0.11 ^a	1.54±0.13 ^a	1.73±0.15 ^a	1.65±0.09 ^a	1.52±0.11 ^a	1.48±0.21 ^a	1.64±0.12 ^a	1.58±0.11 ^a	1.51±0.08 ^{ab}	1.43±0.07 ^a	1.56±0.13 ^a	1.48±0.21 ^a	1.44±0.32 ^a	1.31±0.12 ^a	
$C_{15:0}$	0.34±0.07 ^a	0.35±0.03 ^a	0.38±0.06 ^a	0.33±0.05 ^a	0.32±0.07 ^a	0.33±0.05 ^a	0.35±0.03 ^a	0.39±0.05 ^a	0.31±0.04 ^a	0.32±0.03 ^a	0.35±0.02 ^a	0.32±0.07 ^a	0.33±0.04 ^a	0.30±0.03 ^a	0.35±0.07 ^a	0.32±0.05 ^a	
$C_{16:0}$	23.34±0.17 ^a	22.21±0.42 ^b	21.30±0.35 ^b	21.18±0.27 ^d	22.24±0.26 ^c	21.19±0.18 ^b	21.26±0.20 ^b	20.31±0.42 ^c	21.12±0.34 ^b	20.15±0.21 ^a	20.09±0.24 ^a	19.84±0.18 ^b	20.14±0.29 ^a	20.17±0.18 ^b	19.69±0.24 ^b	19.25±0.15 ^a	
$C_{17:0}$	0.79±0.05 ^a	0.74±0.06 ^a	0.77±0.03 ^a	0.72±0.06 ^a	0.73±0.04 ^a	0.75±0.06 ^a	0.72±0.02 ^a	0.66±0.07 ^a	0.68±0.04 ^{ab}	0.67±0.03 ^{ab}	0.71±0.02 ^a	0.63±0.05 ^a	0.65±0.03 ^a	0.63±0.11 ^a	0.69±0.14 ^a	0.61±0.07 ^a	
$C_{18:0}$	13.74±0.21 ^c	13.27±0.33 ^b	12.71±0.24 ^a	13.18±0.46 ^b	13.71±0.18 ^b	12.42±0.21 ^b	13.12±0.18 ^a	11.59±0.22 ^b	13.24±0.15 ^b	11.71±0.23 ^a	11.94±0.14 ^a	11.68±0.27 ^b	13.81±0.14 ^b	11.42±0.23 ^a	11.61±0.19 ^a	11.04±0.26 ^a	
$C_{20:0}$	3.22±0.11 ^a	3.27±0.15 ^a	3.18±0.22 ^a	3.11±0.09 ^a	3.09±0.07 ^a	3.11±0.17 ^a	3.17±0.09 ^a	3.19±0.14 ^a	3.18±0.21 ^a	3.15±0.14 ^a	3.19±0.17 ^a	3.17±0.18 ^a	3.14±0.18 ^a	3.16±0.13 ^a	3.17±0.11 ^a	3.15±0.22 ^a	
$C_{20:1}$	0.39±0.02 ^a	0.38±0.03 ^a	0.36±0.04 ^a	0.37±0.02 ^a	0.42±0.03 ^a	0.39±0.05 ^a	0.41±0.03 ^a	0.36±0.04 ^a	0.33±0.06 ^a	0.32±0.07 ^a	0.38±0.01 ^a	0.41±0.06 ^a	0.42±0.05 ^b	0.38±0.03 ^a	0.36±0.05 ^a		
$C_{20:2}$	4.32±0.11 ^a	4.27±0.22 ^a	4.18±0.14 ^a	4.24±0.17 ^a	4.05±0.21 ^a	4.04±0.17 ^a	4.11±0.06 ^a	3.82±0.10 ^a	3.98±0.15 ^b	3.84±0.17 ^b	3.79±0.14 ^b	3.31±0.15 ^a	3.21±0.19 ^a	3.19±0.33 ^a	3.22±0.18 ^a	3.16±0.25 ^a	
$C_{20:3}$	0.53±0.02 ^a	0.55±0.04 ^a	0.56±0.03 ^a	0.57±0.04 ^a	0.49±0.05 ^a	0.62±0.07 ^a	0.58±0.03 ^a	0.63±0.04 ^a	0.61±0.07 ^b	0.55±0.03 ^{ab}	0.58±0.04 ^b	0.47±0.03 ^a	0.44±0.03 ^a	0.55±0.07 ^b	0.62±0.03 ^b	0.68±0.04 ^c	
$C_{20:4}$	2.79±0.14 ^a	3.47±0.15 ^c	3.52±0.17 ^a	3.11±0.13 ^a	2.78±0.17 ^a	3.1											

(C_{20:4}) 的相对含量影响显著 ($P<0.05$) , 对其他脂肪酸相对含量影响不显著, 其中处理温度对磷脂脂肪酸中MUFA和PUFA的相对含量在贮藏第15、60天和第60天影响显著。本实验中, 温度是导致磷脂氧化的主要因素, 这可能是由于高温导致肌肉细胞内磷脂酶逸出, 而脂肪酶对棕榈酸(C_{16:0})、油酸(C_{18:1})、亚油酸(C_{18:2})和花生四烯酸(C_{20:4})存在明显的分解作用, 这一结果与宣威火腿^[31]和南京板鸭^[35]磷脂氧化的结果类似。

由表5可以看出, 处理温度和贮藏时间对大部分游离脂肪酸相对含量的变化影响显著 ($P<0.05$) 。其中肉豆蔻酸(C_{14:0})、棕榈酸(C_{16:0})、硬脂酸(C_{18:0})、棕榈油酸(C_{16:1})、油酸(C_{18:1})以及SFA、MUFA占游离脂肪酸的比例随着处理温度升高和贮藏时间延长显著降低, 亚油酸(C_{18:2})和花生四烯酸(C_{20:4})、PUFA占游离脂肪酸比例随着温度升高和贮藏时间延长呈升高趋势。其中, SFA、MUFA和PUFA在游离脂肪酸中和在磷脂脂肪酸中所占比例的变化规律刚好相反, 这也进一步表明, 游离脂肪酸主要来自于磷脂的氧化水解。这与He Zhifei等^[32]的研究结果类似。然而Buscailhon等^[36]在对法国干腌火腿的研究过程中发现, PUFA相对含量在贮藏的前2个月保持不变, 在贮藏的第60~273天则呈下降趋势; Yang Hongju等^[31]在研究宣威火腿肌内脂肪水解过程中也发现类似的现象。上述结果可能是火腿的贮藏温度过高和加工时间过长导致的, 火腿游离脂肪酸中的PUFA随着贮藏时间的延长不断被氧化, 水解成更小分子的芳香类化合物, 从而导致PUFA相对含量的减少。本实验的贮藏时间和贮藏温度与上述实验不同, 因此与火腿加工过程中PUFA相对含量的变化规律有所不同。

相同风干温度处理的牛肉, 4 ℃条件下贮藏60 d, 50 ℃和60 ℃组样品磷脂脂肪酸中PUFA相对含量随着贮藏时间的延长而不断减少(表4), 游离脂肪酸中PUFA相对含量则随着时间延长而不断增加(表5), 但60 ℃处理组游离脂肪酸中PUFA相对含量在贮藏的第30天比第60天显著升高 ($P<0.05$), 这说明游离脂肪酸中的PUFA在30~60 d发生了部分氧化, 这也导致了TBARS值上升。Coutron-Gambotti等^[37]的研究表明, PUFA比SFA和MUFA更容易氧化, 且脂肪中游离脂肪酸比甘油三酯和磷脂更易氧化。由于风干牛肉游离脂肪酸中PUFA比例较大, 由此可以推断, TBARS值会随着贮藏期继续延长而不断增加。

3 结 论

不同温度处理的风干牛肉, 贮藏过程中pH值的变化规律比较一致; 随着贮藏时间的延长, 风干牛肉中过氧

化值、酸价和TBARS值都不断增加, 且温度对这些指标的影响不显著。处理温度对风干牛肉中肌内脂肪含量有影响, 但对脂肪酸组成影响不大, 对甘油三酯和磷脂相对含量影响也不明显, 但对游离脂肪酸相对含量影响较明显, 温度越高, 游离脂肪酸相对含量越高。不同温度处理后, 随着贮藏时间的延长, 磷脂发生明显降解, 磷脂的降解导致游离脂肪酸含量升高。

参考文献:

- [1] 刘娅, 唐慧. 浅析新疆传统食品的工业化[J]. 食品科技, 2007(10): 18-21.
- [2] PALEARI M A, BERETTA G, COLOMBO F, et al. Buffalo meat as a salted and cured product[J]. Meat Science, 2000, 54(4): 365-367. DOI:10.1016/S0309-1740(99)00111-4.
- [3] KABAN G. Changes in the composition of volatile compounds and in microbiological and physicochemical parameters during pastirma processing[J]. Meat Science, 2009, 82(1): 17-23. DOI:10.1016/j.meatsci.2008.11.017.
- [4] JURADO A, GARCÍA C, TIMÓN M L, et al. Effect of ripening time and rearing system on amino acid-related flavour compounds of Iberian ham[J]. Meat Science, 2007, 75(4): 585-594. DOI:10.1016/j.meatsci.2006.09.006.
- [5] WOOD J D, ENSER M, FISHER A V, et al. Fat deposition, fatty acid composition and meat quality: a review[J]. Meat Science, 2008, 78(4): 343-358. DOI:10.1016/j.meatsci.2007.07.019.
- [6] XIE J C, SUN B G, ZHENG F P, et al. Volatile flavor constituents in roasted pork of Mini-pig[J]. Food Chemistry, 2008, 109(3): 506-514. DOI:10.1016/j.foodchem.2007.12.074.
- [7] RAMÍREZ M R, CAVA R. Changes in colour, lipid oxidation and fatty acid composition of pork loin chops as affected by the type of culinary frying fat[J]. LWT-Food Science and Technology, 2005, 38(7): 726-734. DOI:10.1016/j.lwt.2004.09.005.
- [8] TOLDRÁ F. Proteolysis and lipolysis in flavour development of dry-cured meat products[J]. Meat Science, 1998, 49(Suppl 1): 101-110. DOI:10.1016/S0309-1740(98)90041-9.
- [9] 段艳. 乳酸菌的筛选及其对羊肉干发酵香肠品质特性的影响[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2013: 43-67.
- [10] ARNAU J, GOU P, COMAPOSADA J. Effect of the relative humidity of drying air during the resting period on the composition and appearance of dry-cured ham surface[J]. Meat Science, 2003, 65(4): 1275-1280. DOI:10.1016/S0309-1740(03)00036-6.
- [11] 王俊钢, 刘成江, 郭安民, 等. 真空脉动压干燥技术在风干牛肉加工中的应用[J]. 食品与发酵工业, 2017, 43(1): 135-142. DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.201701023.
- [12] 王俊钢, 李宇辉, 郭安民, 等. 基于脉动压技术的腌制新疆特色风干牛肉工艺优化[J]. 食品工业科技, 2016, 37(19): 185-191. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2016.19.028.
- [13] WÓJCIAK K M, KARWOWSKA M, DOLATOWSKI Z J. Use of acid whey and mustard seed to replace nitrates during cooked sausage production[J]. Meat Science, 2014, 96(2): 750-756. DOI:10.1016/j.meatsci.2013.09.002.
- [14] 赵宇明, 董广彬, 李鹏, 等. 肉及肉制品过氧化值检测新方法的验证[J]. 肉类工业, 2017(2): 26-29.
- [15] 国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品中酸价的测定: GB 5009.229—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016: 1-4.

- [16] 国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品中过氧化值的测定: GB 5009.227—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016: 1-3.
- [17] SALIH A M, SMITH D M, PRICE J F, et al. Modified extraction 2-thiobarbituric acid method for measuring lipid oxidation in poultry[J]. Poultry Science, 1987, 66(9): 1483-1488. DOI:10.3382/ps.0661483.
- [18] MORRISON W R, SMITH L M. Preparation of fatty acid methyl esters and dimethylacetals from lipids with boron fluoride-methanol[J]. Journal of Lipid Research, 1964, 5(4): 600-608.
- [19] 周玉春, 张丽, 孙宝忠, 等. 牦牛肉在发酵过程中pH值及微生物的变化[J]. 食品与发酵工业, 2014, 40(8): 246-251. DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.2014.08.045.
- [20] PETIT T, CARO Y, PETIT A S, et al. Physicochemical and microbiological characteristics of biltong, a traditional salted dried meat of South Africa[J]. Meat Science, 2014, 96(3): 1313-1317. DOI:10.1016/j.meatsci.2013.11.003.
- [21] 辜义洪, 练冬梅. 传统发酵肉中的微生物及其变化特性[J]. 宜宾学院学报, 2007(6): 61-65.
- [22] 刘玮. 封鮰鱼营养品质、风味特征及其防腐保鲜[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2017: 28-32.
- [23] 罗玉龙, 靳志敏, 刘夏炜, 等. 肉制品中香味物质形成原因研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2015, 41(2): 254-258. DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.201502045.
- [24] 沙坤. 新疆风干牛肉质量特征及风味物质形成机制的研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2015: 48-49.
- [25] 孙宝忠. 干腌牛肉加工过程中微生物变化、作用及机理[D]. 北京: 中国农业大学, 2004: 27-28.
- [26] WEBER J, BOCHI V C, RIBEIRO C P, et al. Effect of different cooking methods on the oxidation, proximate and fatty acid composition of silver catfish (*Rhamdia quelen*) fillets[J]. Food Chemistry, 2008, 106(1): 140-146. DOI:10.1016/j.foodchem.2007.05.052.
- [27] ERCOŞKUN H, ÖZKAL S G. Kinetics of traditional Turkish sausage quality aspects during fermentation[J]. Food Control, 2011, 22(2): 165-172. DOI:10.1016/j.foodcont.2010.06.015.
- [28] ZHANG H R, WANG Q, FAN E. Stability profile of fatty acids in yak (*Bos grunniens*) kidney fat during the initial stages of autoxidation[J]. Journal of the American Oil Chemists' Society, 2009, 86(11): 1057-1063.
- [29] 王强. 香肠脂肪氧化动力学特性及温度对其影响研究[J]. 食品科学, 2013, 34(11): 130-133. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201311029.
- [30] WANG D Y, ZHU Y Z, XU W M. Composition of intramuscular phospholipids and free fatty acids in three kinds of traditional Chinese duck meat products[J]. Poultry Science, 2009, 88(1): 221-226. DOI:10.3382/ps.2008-00205.
- [31] YANG Hongju, MA Changwei, QIAO Fadong, et al. Lipolysis in intramuscular lipids during processing of traditional Xuanwei ham[J]. Meat Science, 2005, 71(4): 670-675. DOI:10.1016/j.meatsci.2005.05.019.
- [32] HE Zhifei, HUANG Yechuan, LI Hongjun, et al. Effect of high-pressure treatment on the fatty acid composition of intramuscular lipid in pork[J]. Meat Science, 2012, 90(1): 170-175. DOI:10.1016/j.meatsci.2011.06.022.
- [33] 任双. 腌腊肉制品磷脂酰胆碱氢过氧化物含量检测及其在加工过程中的变化规律研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2016: 27-31.
- [34] 周慧敏, 赵燕, 任双, 等. 杀菌温度对乳化肠中脂肪酸组成和脂肪氧化的影响[J]. 食品科学, 2018, 39(11): 26-31. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201811005.
- [35] XU W, XU X, ZHOU G, et al. Changes of intramuscular phospholipids and free fatty acids during the processing of Nanjing dry-cured duck[J]. Food Chemistry, 2008, 110(2): 279-284. DOI:10.1016/j.foodchem.2007.11.044.
- [36] BUSCAILHON S, GANDEMÉR G, MONIN G. Time-related changes in intramuscular lipids of French dry-cured ham[J]. Meat Science, 1994, 37(2): 245-255. DOI:10.1016/0309-1740(94)90084-1.
- [37] COUTRON-GAMBOTTI C, GANDEMÉR G. Lipolysis and oxidation in subcutaneous adipose tissue during dry-cured ham processing[J]. Food Chemistry, 1999, 64(1): 95-101. DOI:10.1016/S0308-8146(98)00079-X.