

# 不同日龄北京油鸡腿肌中长链脂肪酸变化规律研究

张 剑, 曹 婧, 耿爱莲, 王海宏, 初 芹, 晏志勋, 张小月, 张 尧, 刘华贵\*

(北京市农林科学院畜牧兽医研究所, 北京 100097)

**摘 要:**为研究北京油鸡腿肌中长链脂肪酸变化规律, 试验运用气相色谱-质谱联用的靶向代谢组学方法, 对150、300、450日龄北京油鸡腿肌的中长链脂肪酸含量进行检测。结果表明: 北京油鸡腿肌共鉴定出33种中长链脂肪酸, 其组成不随日龄的变化而变化; 油酸(C18:1 n-9c)、棕榈酸(C16:0)、亚油酸(C18:2 n-6c)、硬脂酸(C18:0)、花生四烯酸(C20:4 n-6)和棕榈油酸(C16:1)等脂肪酸为北京油鸡腿肌中的主要脂肪酸, 其含量占总脂肪酸的95.52%; 除n-3系列多不饱和脂肪酸外, 饱和脂肪酸(SFAs)、单不饱和脂肪酸(MUFAs)、多不饱和脂肪酸(PUFAs)、不饱和脂肪酸(UFAs)、必需脂肪酸(EFAs)和n-6系列多不饱和脂肪酸的相对比例在不同日龄间无显著差异( $P>0.05$ ), 但其450日龄绝对含量极显著地高于150和300日龄( $P<0.01$ ); 二十二碳六烯酸(C22:6 n-3, DHA)、 $\alpha$ -亚麻酸(C18:3 n-3, ALA)和花生四烯酸(C20:4 n-6, ARA)、亚油酸(C18:2 n-6c, LA)分别是北京油鸡腿肌中主要的n-3系列和n-6系列PUFAs, 北京油鸡腿肌n-6/n-3 PUFAs比例在21.18~24.39:1范围内, 且450日龄显著高于150和300日龄。研究结果提示日龄对北京油鸡腿肌脂肪酸分类的绝对含量影响程度高于对相对比例的影响, 且基于脂肪酸绝对含量, 北京油鸡150和450日龄的腿肌在营养及风味上要优于300日龄。

**关键词:**靶向代谢组学; 中长链脂肪酸; 腿肌; 北京油鸡

中图分类号:S831.2

文献标识码:A

文章编号:1004-6364(2021)07-10-08

## Changes of Medium- and Long-chain Fatty Acids in Leg Muscle of Beijing-You Chicken at Different Ages

ZHANG Jian, CAO Jing, GENG Ailian, WANG Haihong, CHU Qin,

YAN Zhixun, ZHANG Xiaoyue, ZHANG Yao, LIU Huagui\*

(Institute of Animal Husbandry and Veterinary Medicine,

Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Beijing 100097)

**Abstract:** To study the content and composition changes of medium- and long-chain fatty acids in leg muscle of Beijing-You chicken (BYC), a targeted metabolomics method based on gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) was carried out to investigate the value of medium- and long-chain fatty acids at 150, 300 and 450 days of age respectively. A total of 33 medium- and long-chain fatty acids had been identified and their composition did not change with age.

收稿日期:2021-01-06; 修回日期:2021-04-26

基金项目:公益院所项目(XMS2019003); 北京市科技计划项目(D171100007817005); 北京市农林科学院科技创新能力建设专项(KJCX20200101, KJCX20200421)

作者简介:张剑(1978-), 男, 博士, 副研究员, 主要从事家禽遗传育种及品质评定研究, E-mail: zjc@126.com

\*通讯作者:刘华贵(1966-), 男, 博士, 研究员, 主要从事家禽遗传育种及品质评定研究, E-mail: liuhuagui66@163.com

Oleic acid (C18:1n-9c), palmitic acid (C16:0), linoleic acid (C18:2n-6c), stearic acid (C18:0), arachidonic acid (C20:4n-6) and palmitoleic acid (C16:1) were the main fatty acids in leg muscle of BYC and the total content accounts of these six fatty acids could account for 95.52% of the total fatty acids. Besides n-3 PUFAs, the relative proportions of fatty acids categories, such as saturated fatty acids (SFAs), monounsaturated fatty acids (MUFAs), polyunsaturated fatty acids (PUFAs), unsaturated fatty acids (UFAs), essential fatty acids (EFAs) and n-6 series PUFAs, showed no significant difference among different ages ( $P>0.05$ ), but the absolute contents of those fatty acids categories at 450 days of age were extremely higher than those of 150 and 300 days of age ( $P<0.01$ ). Docosahexaenoic acid (C22:6 n-3, DHA), linolenic acid (C18:3 n-3, ALA), arachidonic acid (C20:4 n-6, ARA), and linoleic acid (C18:2 n-6c, LA) were the main n-3 series and n-6 series PUFAs in leg muscle of BYC. The ratio of n-6/n-3 PUFAs at 450 days of age was extremely higher than that of 150 and 300 days of age in leg muscle of BYC ( $P<0.01$ ), and the ratio was varies from 21.18:1 to 24.39:1. These results showed that the different ages of BYC had much great effect on the absolute content than on the relative proportion of fatty acid categories and proved that leg muscle of BYC at 150 days of age and 450 days of age were superior to those at 300 days of age in terms of nutrition and flavor from the perspective of absolute fatty acid content.

**Key words:** targeted metabolomics; medium- and long-chain fatty acids; leg muscle; Beijing-You chicken (BYC)

脂肪酸特别是多不饱和脂肪酸是评价肉品营养价值的一个重要指标,其不仅是肉类香味的重要风味前体物质,也是人体必不可少的营养成分<sup>[1-3]</sup>,对人类健康具有重要影响,已引起了广泛关注<sup>[4]</sup>。众所周知,在人类饮食中较高的饱和脂肪酸(Saturated fatty acids, SFAs)摄入量会增加患冠心病、动脉粥样硬化和癌症的风险<sup>[5]</sup>,但是单不饱和脂肪酸(Monounsaturated fatty acids, MUFAs)和多不饱和脂肪酸(Polyunsaturated fatty acids, PUFAs),尤其是n-3系列PUFAs对人类健康具有广泛的益处<sup>[6]</sup>。富含长链n-3系列PUFAs的食物可以改善心血管健康<sup>[7]</sup>,抑制炎症反应<sup>[8]</sup>及维持中枢神经系统的健康<sup>[9]</sup>。脂肪酸的组成是改善鸡肉品质、选育良种的一个潜在指标,其通过形成风味化合物或作为风味化合物溶剂等两种作用对鸡肉的营养价值、风味、加工特性产生重要影响<sup>[10]</sup>。因此深入开展鸡肉中脂肪酸的分析研究具有重要的理论和应用价值。

北京油鸡属肉蛋兼用型地方品种,主产于京郊,具有外貌独特、肉味鲜美、蛋质佳良等特点,是宝贵的地方品种资源<sup>[11]</sup>。近年来,北京油鸡脂肪酸组成及含量研究主要围绕营养调控<sup>[12]</sup>、饲养方式<sup>[13,14]</sup>等方面,而脂肪酸含量及组成随日龄变化的研究比较少。因此,本试验研究了北京油鸡腿肌中长链脂肪酸在150、300、450日龄的组成、含量及其变化规律,为北京油鸡的合理开发利用、营养价值评价及资源保护提供相应的研究依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验动物

本研究共采用120日龄体重相似的纯种北京油鸡母鸡90只(来自北京市农林科学院畜牧兽医研究所北京油鸡资源保种场)。试验鸡随机分为3组,每组30只,饲养于单层平养鸡笼内。采用玉米-豆粕型基础日粮,其组成及营养水平见表1。饲养试验在北京市农林科学院榆堡种鸡场进行,试验前鸡群饲喂相同的青年鸡日粮(49~120日龄),试验开始后饲喂产蛋鸡日粮(121~450日龄),试验期自由采食和饮水,饲养管理条件一致。

表1 饲粮组成及营养水平

| 日粮组成/% | 49~120<br>日龄 | 121~450<br>日龄 | 营养水平/%      | 49~120<br>日龄 | 121~450<br>日龄 |
|--------|--------------|---------------|-------------|--------------|---------------|
| 玉米     | 65.5         | 64.0          | 代谢能/(MJ/kg) | 11.20        | 11.08         |
| 豆粕     | 21.5         | 23.2          | 粗蛋白         | 15.07        | 15.51         |
| 小麦麸    | 5.0          | 3.8           | 钙           | 2.03         | 2.75          |
| 石粉     | 4.0          | 5.0           | 磷           | 0.51         | 0.51          |
| 预混料    | 4.0          | 4.0           | 有效磷         | 0.29         | 0.29          |

注:预混料包括维生素和微量元素;每千克饲料提供:铜0.3 g,铁1.0 g,锰1.5 g,锌1.5 g,碘20 mg,硒3 mg,钴10 mg,  $V_1$  100 KIU,  $V_{10}$  70 KIU,  $V_8$  0.5 KIU,  $V_{12}$  50 mg,  $V_{11}$  50 mg,  $V_{13}$  150 mg,  $V_{14}$  70 mg,  $V_{15}$  0.5 mg,泛酸钙240 mg,烟酰胺720 mg,叶酸24 mg,生物素2.5 mg;代谢能为计算值,其余营养指标为测定值。

### 1.2 样品采集

分别在北京油鸡150、300及450日龄随机挑选15只(每组5只)体重相似的母鸡个体用于样品的采集。屠宰前禁食12 h,电麻屠宰后于腿肌的髂胫外侧肌同一部位采集腿肌样品,立即置于灭

菌离心管中(200 mg/管)并快速置于液氮中冷冻保存,运回实验室后转入-80℃保存,直到进行气相色谱-质谱(GC-MS)分析。其余样品用于粗脂肪、粗蛋白等指标检测。

### 1.3 仪器与试剂

主要试剂:37种脂肪酸甲酯混标购自上海安谱实验科技股份有限公司;正己烷、甲醇、氯仿及二氯甲烷等试剂购自美国Fisher Chemical公司,乙醚购于北京化工厂。

主要仪器:气相色谱-质谱联用仪(8890B-5977B型,美国Agilent公司);毛细管色谱柱(DB-FasTFAsME,美国Agilent J&W Scientific公司);多样品冷冻研磨仪(Wonbio-96c,上海万柏生物科技有限公司);氮吹仪(JXDC-20,上海净信实业发展有限公司);高速冷冻离心机(5424R,美国Eppendorf公司);全自动脂肪抽提仪(SER148,意大利VELP公司);分析天平(BT125D,德国Sartorius公司)。

### 1.4 样品前处理

精确称取样品200 mg于1 mL研磨管中,加入一个小钢珠,再加入1 mL氯仿:甲醇(v/v=1:1),置于冷冻研磨仪中研磨3 min。低温超声15 min,-20℃静置15 min。4℃,13 000 r/min离心10 min,吸取上清液到5 mL离心管中,然后加入1 mL二氯甲烷,置于冷冻研磨仪中研磨3 min。低温超声15 min,-20℃静置15 min。4℃,13 000 r/min离心10 min。吸取下层液体到5 mL离心管中,氮气吹干。

氮气吹干后加入1 mL甲基化试剂(0.5 mol/L氢氧化钠甲醇溶液),涡旋震荡30 s,60℃水浴0.5 h。水浴冷却后,加入1 mL正己烷,涡旋震荡30 s。再加入1 mL饱和氢氧化钠水溶液,涡旋震荡30 s,4℃,13 000 r/min离心10 min,取上层(正己烷层)溶液到1.5 mL离心管中。氮气吹干,加入200 μL正己烷,涡旋震荡30 s复溶。4℃,13 000 r/min离心5 min,取上清液至进样瓶,进行GC-MS检测。

### 1.5 GC条件

Agilent DB-FasTFAsME毛细管色谱柱(20 m×0.18 mm×0.20 μm),载气为高纯氮气(纯度不小于99.999%),流速1.0 mL/min,进样口温度250℃。进样量1 μL,分流进样,分流比50:1,溶剂延1.2 min。

升温程序:柱温箱的初始温度为80℃,保持0.5 min,以70℃/min升温至180℃,再以4℃/min升温至220℃,后运行240℃保持2 min。

### 1.6 MS条件

电子轰击离子源(EI),离子源温度230℃,四极杆温度150℃,传输线温度240℃,电子能量70 eV。扫描方式为选择离子扫描模式(SIM)。

### 1.7 统计与分析

在Masshunter定量软件(美国Agilent公司,版本号:v10.0.707.0)中采用默认参数对各离子碎片进行自动识别和积分,并辅助人工检查。以37种脂肪酸甲酯混标为标准品的质谱峰面积为纵坐标,以对应标准品浓度为横坐标绘制线性回归标准曲线,计算每种脂肪酸的质量分数(μg/g)及其占总脂肪酸的相对百分比(%)。采用SAS 9.0软件包中的广义线性模型程序对3个日龄的每种脂肪酸的质量分数和其占总脂肪酸的相对百分比等进行了分析,并用邓肯氏(Duncan's)检验对日龄间的最小二乘均值进行了多重比较,结果以最小二乘均值及标准误表示。

## 2 结果与分析

### 2.1 日龄对腿肌常规指标的影响

北京油鸡活重、腿肌率、粗蛋白及粗脂肪含量见表2。由表2可知,北京油鸡活重、腿肌率及粗脂肪含量随日龄的增加而极显著增大,粗蛋白含量随日龄的增加而极显著减少。

表2 北京油鸡腿肌不同日龄常规指标

| 项目    | 活重/g               | 腿肌率/%              | 粗蛋白/%              | 粗脂肪/%              |
|-------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 150日龄 | 1 344 <sup>a</sup> | 8.29 <sup>a</sup>  | 79.18 <sup>a</sup> | 17.32 <sup>a</sup> |
| 300日龄 | 1 951 <sup>b</sup> | 10.27 <sup>b</sup> | 72.28 <sup>b</sup> | 27.33 <sup>b</sup> |
| 450日龄 | 2 228 <sup>c</sup> | 12.04 <sup>c</sup> | 61.83 <sup>c</sup> | 35.71 <sup>c</sup> |
| SE    | 59.85              | 0.33               | 1.04               | 1.07               |
| P值    | 0.0021             | 0.0004             | <0.0001            | <0.0001            |

注:同列数据肩标不同小写字母表示差异显著或极显著( $P<0.05$ 或 $P<0.01$ )。

### 2.2 日龄对腿肌脂肪酸绝对含量的影响

北京油鸡腿肌总脂质中对应的中长链脂肪酸组成及绝对含量见表3。由表3可知,北京油鸡3个日龄腿肌都鉴定到了33种脂肪酸,包含15种SFAs、8种MUFAs及10种PUFAs。北京油鸡腿肌450日龄总脂肪酸(TFAs)、SFAs、MUFAs、PUFAs、不饱和脂肪酸(UFAs)、必需脂肪酸(EFAs)、n-3系列和n-6系列多不饱和脂肪酸的绝对含量极显著

地高于150和300日龄( $P<0.01$ ),300日龄除在TFAs、MUFAs及UFAs上显著低于150日龄( $P<0.05$ ),在SFAs、PUFAs、EFAs、n-3和n-6系列PUFAs上,150和300日龄间差异不显著( $P>0.05$ )。

对于SFAs,除辛酸(C8:0)、癸酸(C10:0)、十一烷酸(C11:0)及二十一烷酸(C21:0)等4种SFAs的绝对含量在各日龄间没有显著差异( $P>0.05$ )外,其余11种SFAs存在极显著的差异( $P<0.01$ )。北京油鸡腿肌主要SFAs是棕榈酸(C16:0)和硬脂酸(C18:0),其在450日龄时的绝对含量极显著高于150和300日龄( $P<0.01$ )。对于MUFAs,除十五碳一烯酸(C15:1)的绝对含量在各日龄间没有显著差异( $P>0.05$ )外,其余7种MUFAs的绝对含量都存在显著或极显著差异( $P<0.05$ 或 $P<0.01$ )。北京油鸡腿肌主要MUFAs是油酸(C18:1 n-9c)和棕榈油酸(C16:1),450日龄绝对含量极显著高于150和300日龄( $P<0.01$ )。对于PUFAs,除二十二碳二烯酸(C22:2)的绝对含量在各日龄间没有显著性差异( $P>0.05$ )外,其余9种多PUFAs都存在极显著差异( $P<0.01$ )。北京油鸡腿肌主要的PUFAs是亚油酸(C18:2 n-6c, LA)和花生四烯酸(C20:4 n-6, ARA)。450日龄LA绝对含量极显著高于150和300日龄( $P<0.01$ )。ARA、二十碳五烯酸(C20:5 n-3, EPA)及二十二碳六烯酸(C22:6 n-3, DHA)的绝对含量在300日龄最低,且随着日龄的增加呈现出先降低后升高的趋势。

### 2.3 日龄对腿肌脂肪酸相对比例的影响

北京油鸡腿肌总脂质中对应的中长链脂肪组成及其占总脂肪酸(TFAs)相对比例见表4。由表4可知,除n-3系列PUFAs的相对比例在3个日龄间存在差异外( $P<0.05$ ),SFAs、MUFAs、PUFAs、UFAs、EFAs、n-6系列PUFAs的相对比例在3个日龄没有显著差异( $P>0.05$ )。北京油鸡腿肌SFAs和UFAs的相对比例分别在35.07%~37.09%和62.91%~64.93%之间。n-6/n-3在450日龄显著高于150和300日龄,其比例在21.18~24.39:1之间。此外,3个日龄对多不饱和脂肪酸和饱和脂肪酸的比例(PUFAs/SFAs)差异不显著( $P>0.05$ )。

对于SFAs,除棕榈酸(C16:0)和十七烷酸(C17:0)等2种SFAs相对比例在各日龄没有显著差异( $P>0.05$ )外,其余13种SFAs都存在显著或极

显著差异( $P<0.05$ 或 $P<0.01$ )。其中辛酸(C8:0)、癸酸(C10:0)、十一烷酸(C11:0)、十三烷酸(C13:0)、二十一烷酸(C21:0)、山嵛酸(C22:0)、二十三烷酸(C23:0)和二十四烷酸(C24:0)等8种SFAs的相对比例随日龄的增加呈现先上升后下降的趋势。450日龄的硬脂酸(C18:0)和花生酸(C20:0)的相对比例低于150和300日龄,肉豆蔻酸(C14:0)相对比例高于150和300日龄。150日龄的月桂酸(C12:0)和十五烷酸(C15:0)等2种SFAs的相对比例低于300和450日龄。对于MUFAs,除十七碳一烯酸(C17:1)、油酸(C18:1 n-9c)和二十碳一烯酸(C20:1)等3种MUFAs的相对比例在各日龄间差异不显著( $P>0.05$ )外,肉豆蔻一烯酸(C14:1)、十五碳一烯酸(C15:1)、芥酸(C22:1 n-9)和二十四碳一烯酸(C24:1)等4种MUFAs的相对比例在日龄间存在极显著差异( $P<0.01$ ),且其随日龄的增加呈现先上升后下降的趋势。棕榈油酸(C16:1)相对比例450日龄显著高于150和300日龄。对于PUFAs,除二十二碳二烯酸(C22:2)相对比例在各日龄间没有显著性差异( $P>0.05$ )外,其余9种PUFAs的相对比例在各饲养阶段间都存在极显著差异( $P<0.01$ )。其中二十碳二烯酸(C20:2)、二十碳三烯酸(C20:3 n-6)、ARA、EPA及DHA等5种PUFAs的相对比例450日龄显著低于150和300日龄。然而,LA、GLA和ALA等3种PUFAs的相对比例450日龄显著高于150和300日龄。此外,二十碳三烯酸(C20:3 n-3)相对比例随日龄的增加呈现先上升后下降的趋势,且达极显著性差异( $P<0.01$ )。

## 3 讨论

### 3.1 日龄对北京油鸡腿肌常规指标的影响

本试验结果显示,北京油鸡腿肌粗脂肪含量随日龄增加而显著上升( $P<0.01$ ),与舒婷等<sup>[15]</sup>、Cui等<sup>[16]</sup>等的研究结果一致。此外,脂肪酸绝对含量随日龄增加先下降后显著上升( $P<0.01$ ),而相对比例则在不同日龄间无显著差异( $P>0.05$ )。此研究结果表明北京油鸡从150日龄到450日龄的生长过程中腿肌粗脂肪显著增加,但其与脂肪酸绝对含量及相对比例间没有必然的相关性。这可能与肌肉中的脂肪酸主要以甘油三酯、磷脂、二酰基甘油、胆固醇、脂溶性维生素等脂类物质的形

表3 北京油鸡不同日龄腿肌的中长链脂肪酸组成及绝对含量

| 脂肪酸                                        | 150日龄/( $\mu\text{g/g}$ ) | 300日龄/( $\mu\text{g/g}$ ) | 450日龄/( $\mu\text{g/g}$ ) | SE     | P值       |
|--------------------------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|--------|----------|
| 辛酸(C8:0)                                   | 0.45                      | 0.44                      | 0.51                      | 0.04   | 0.335 7  |
| 癸酸(C10:0)                                  | 0.44                      | 0.42                      | 0.52                      | 0.03   | 0.092 2  |
| 十一烷酸(C11:0)                                | 0.36                      | 0.36                      | 0.37                      | 0.01   | 0.318 1  |
| 月桂酸(C12:0)                                 | 0.95 <sup>a</sup>         | 0.54 <sup>a</sup>         | 2.50 <sup>a</sup>         | 0.39   | 0.009 0  |
| 十三烷酸(C13:0)                                | 0.43 <sup>a</sup>         | 0.39 <sup>a</sup>         | 0.51 <sup>a</sup>         | 0.02   | 0.000 3  |
| 肉豆蔻酸(C14:0)                                | 22.71 <sup>a</sup>        | 9.35 <sup>a</sup>         | 61.51 <sup>a</sup>        | 7.94   | 0.001 8  |
| 十五烷酸(C15:0)                                | 3.61 <sup>a</sup>         | 1.69 <sup>a</sup>         | 7.00 <sup>a</sup>         | 0.88   | 0.000 2  |
| 棕榈酸(C16:0)                                 | 822.05 <sup>b</sup>       | 356.81 <sup>a</sup>       | 1 627.31 <sup>a</sup>     | 188.34 | 0.005 4  |
| 十七烷酸(C17:0)                                | 7.49 <sup>a</sup>         | 3.10 <sup>a</sup>         | 15.56 <sup>a</sup>        | 1.69   | 0.002 2  |
| 硬脂酸(C18:0)                                 | 439.20 <sup>b</sup>       | 195.24 <sup>a</sup>       | 741.71 <sup>a</sup>       | 59.86  | 0.001 4  |
| 花生酸(C20:0)                                 | 3.51 <sup>a</sup>         | 1.78 <sup>a</sup>         | 6.74 <sup>a</sup>         | 0.64   | 0.001 4  |
| 二十一烷酸(C21:0)                               | 1.00                      | 0.96                      | 1.01                      | 0.03   | 0.693 0  |
| 山嵛酸(C22:0)                                 | 1.78 <sup>a</sup>         | 1.25 <sup>a</sup>         | 2.40 <sup>a</sup>         | 0.12   | 0.001 6  |
| 二十三烷酸(C23:0)                               | 1.06 <sup>a</sup>         | 0.99 <sup>a</sup>         | 1.16 <sup>a</sup>         | 0.03   | 0.009 0  |
| 二十四烷酸(C24:0)                               | 1.85 <sup>a</sup>         | 1.35 <sup>a</sup>         | 1.79 <sup>a</sup>         | 0.06   | <0.000 1 |
| 肉豆蔻一烯酸(C14:1)                              | 4.14 <sup>a</sup>         | 3.06 <sup>a</sup>         | 7.17 <sup>a</sup>         | 1.19   | 0.021 6  |
| 十五碳一烯酸(C15:1)                              | 1.67                      | 1.88                      | 1.89                      | 0.16   | 0.344 7  |
| 棕榈油酸(C16:1)                                | 121.25 <sup>b</sup>       | 38.51 <sup>a</sup>        | 275.24 <sup>a</sup>       | 49.46  | 0.036 4  |
| 十七碳一烯酸(C17:1)                              | 4.43 <sup>a</sup>         | 2.37 <sup>a</sup>         | 11.07 <sup>a</sup>        | 1.53   | 0.004 9  |
| 油酸(C18:1 n-9c)                             | 1 293.31 <sup>a</sup>     | 491.23 <sup>a</sup>       | 2 189.42 <sup>a</sup>     | 263.39 | <0.000 1 |
| 二十碳一烯酸(C20:1)                              | 14.56 <sup>a</sup>        | 4.78 <sup>a</sup>         | 25.86 <sup>a</sup>        | 3.56   | 0.000 3  |
| 芥酸(C22:1 n-9)                              | 1.56 <sup>a</sup>         | 1.26 <sup>a</sup>         | 2.17 <sup>a</sup>         | 0.16   | 0.000 5  |
| 二十四碳一烯酸(C24:1)                             | 1.44 <sup>a</sup>         | 1.29 <sup>a</sup>         | 1.78 <sup>a</sup>         | 0.10   | 0.001 8  |
| 亚油酸(C18:2 n-6c, LA) <sup>a</sup>           | 701.14 <sup>b</sup>       | 307.97 <sup>a</sup>       | 1 661.00 <sup>b</sup>     | 188.69 | 0.001 3  |
| $\gamma$ -亚麻酸(C18:3 n-6, GLA) <sup>a</sup> | 5.62 <sup>a</sup>         | 2.89 <sup>a</sup>         | 20.83 <sup>a</sup>        | 2.92   | 0.001 0  |
| $\alpha$ -亚麻酸(C18:3 n-3, ALA) <sup>a</sup> | 22.53 <sup>b</sup>        | 8.18 <sup>a</sup>         | 55.48 <sup>a</sup>        | 7.52   | 0.004 5  |
| 二十碳二烯酸(C20:2)                              | 11.38 <sup>a</sup>        | 4.76 <sup>a</sup>         | 14.33 <sup>a</sup>        | 1.64   | 0.008 3  |
| 二十碳三烯酸(C20:3 n-6)                          | 15.18 <sup>a</sup>        | 8.01 <sup>a</sup>         | 19.35 <sup>a</sup>        | 1.95   | 0.000 3  |
| 花生四烯酸(C20:4 n-6, ARA) <sup>a</sup>         | 199.14 <sup>a</sup>       | 105.05 <sup>a</sup>       | 162.09 <sup>b</sup>       | 12.23  | 0.002 7  |
| 二十碳三烯酸(C20:3 n-3)                          | 1.74 <sup>a</sup>         | 1.51 <sup>a</sup>         | 2.03 <sup>a</sup>         | 0.11   | 0.002 0  |
| 二十碳五烯酸(C20:5 n-3, EPA)                     | 2.16 <sup>a</sup>         | 1.35 <sup>a</sup>         | 1.63 <sup>a</sup>         | 0.12   | 0.003 5  |
| 二十二碳二烯酸(C22:2)                             | 2.03                      | 1.23                      | 1.33                      | 0.36   | 0.122 6  |
| 二十二碳六烯酸(C22:6 n-3, DHA)                    | 15.42 <sup>a</sup>        | 9.10 <sup>a</sup>         | 16.43 <sup>a</sup>        | 1.72   | 0.005 6  |
| 总脂肪酸(TFAs)                                 | 3 725.66 <sup>a</sup>     | 1 569.11 <sup>a</sup>     | 6 939.72 <sup>a</sup>     | 637.15 | 0.001 4  |
| 饱和脂肪酸(SFAs)                                | 1 306.95 <sup>a</sup>     | 574.67 <sup>a</sup>       | 2 470.60 <sup>a</sup>     | 253.03 | 0.003 1  |
| 单不饱和脂肪酸(MUFAs)                             | 1 442.35 <sup>a</sup>     | 544.37 <sup>a</sup>       | 2 514.61 <sup>a</sup>     | 271.03 | 0.009 4  |
| 多不饱和脂肪酸(PUFAs)                             | 976.35 <sup>b</sup>       | 450.06 <sup>a</sup>       | 1 954.51 <sup>a</sup>     | 205.70 | 0.002 3  |
| 不饱和脂肪酸(UFAs)                               | 2 418.71 <sup>a</sup>     | 994.44 <sup>a</sup>       | 4 469.12 <sup>a</sup>     | 400.82 | 0.001 2  |
| 必需脂肪酸(EFAs)                                | 928.43 <sup>b</sup>       | 424.09 <sup>a</sup>       | 1 899.40 <sup>a</sup>     | 202.21 | 0.002 1  |
| n-3(Omega-3)                               | 41.86 <sup>b</sup>        | 20.15 <sup>a</sup>        | 75.58 <sup>a</sup>        | 7.63   | 0.004 2  |
| n-6(Omega-6)                               | 921.08 <sup>b</sup>       | 423.93 <sup>a</sup>       | 1 863.27 <sup>a</sup>     | 196.61 | 0.002 2  |

注:同行数据肩标相同字母表示差异不显著( $P>0.05$ ),肩标不同字母表示差异显著或极显著( $P<0.05$ 或 $P<0.01$ );SE为标准误,<sup>a</sup>为必需氨基酸,下同。

式存在<sup>[17]</sup>,而脂类物质未必都包含脂肪酸有关。

### 3.2 日龄对北京油鸡腿肌中脂肪酸组成的影响

本试验结果显示,不同日龄鉴定到的中长链脂肪酸种类相同,都分别鉴定到15种SFAs、8种MUFAs及10种PUFAs。其中棕榈酸(C16:0)、硬脂酸(C18:0)、油酸(C18:1 n-9c)、棕榈油酸(C16:1)、

亚油酸(C18:2 n-6c)和花生四烯酸(C20:4 n-6)为北京油鸡腿肌脂肪酸的主要脂肪酸,含量最高的脂肪酸为油酸(C18:1 n-9c),占总脂肪酸的29.90%~32.60%,然后依次为棕榈酸(C16:0)、亚油酸(C18:2 n-6c)、硬脂酸(C18:0)、花生四烯酸(C20:4 n-6)和棕榈油酸(C16:1),其总含量占总

表4 北京油鸡不同日龄腿肌的中长链脂肪酸组成及相对比例

| 脂肪酸                                | 150日龄/%             | 300日龄/%              | 450日龄/%             | SE    | P值       |
|------------------------------------|---------------------|----------------------|---------------------|-------|----------|
| 辛酸(C8:0)                           | 0.016 <sup>b</sup>  | 0.032 <sup>a</sup>   | 0.013 <sup>b</sup>  | 0.004 | 0.005 0  |
| 癸酸(C10:0)                          | 0.017 <sup>b</sup>  | 0.032 <sup>a</sup>   | 0.012 <sup>b</sup>  | 0.004 | 0.000 7  |
| 十一烷酸(C11:0)                        | 0.012 <sup>b</sup>  | 0.029 <sup>a</sup>   | 0.009 <sup>b</sup>  | 0.003 | 0.000 3  |
| 月桂酸(C12:0)                         | 0.026 <sup>b</sup>  | 0.037 <sup>a</sup>   | 0.034 <sup>ab</sup> | 0.003 | 0.034 4  |
| 十三烷酸(C13:0)                        | 0.015 <sup>b</sup>  | 0.031 <sup>a</sup>   | 0.012 <sup>b</sup>  | 0.003 | 0.000 5  |
| 肉豆蔻酸(C14:0)                        | 0.528 <sup>b</sup>  | 0.552 <sup>b</sup>   | 0.830 <sup>a</sup>  | 0.060 | 0.002 8  |
| 十五烷酸(C15:0)                        | 0.094 <sup>b</sup>  | 0.111 <sup>a</sup>   | 0.098 <sup>ab</sup> | 0.005 | 0.032 6  |
| 棕榈酸(C16:0)                         | 21.716              | 22.529               | 22.600              | 0.824 | 0.951 9  |
| 十七烷酸(C17:0)                        | 0.204               | 0.204                | 0.218               | 0.009 | 0.265 2  |
| 硬脂酸(C18:0)                         | 13.222 <sup>a</sup> | 13.061 <sup>ab</sup> | 11.038 <sup>b</sup> | 0.722 | 0.041 7  |
| 花生酸(C20:0)                         | 0.106 <sup>ab</sup> | 0.127 <sup>a</sup>   | 0.098 <sup>b</sup>  | 0.008 | 0.022 6  |
| 二十一烷酸(C21:0)                       | 0.039 <sup>b</sup>  | 0.074 <sup>a</sup>   | 0.019 <sup>b</sup>  | 0.009 | 0.000 3  |
| 山嵛酸(C22:0)                         | 0.063 <sup>b</sup>  | 0.095 <sup>a</sup>   | 0.039 <sup>b</sup>  | 0.010 | 0.000 5  |
| 二十三烷酸(C23:0)                       | 0.039 <sup>b</sup>  | 0.076 <sup>a</sup>   | 0.023 <sup>b</sup>  | 0.009 | 0.000 4  |
| 二十四烷酸(C24:0)                       | 0.068 <sup>b</sup>  | 0.104 <sup>a</sup>   | 0.033 <sup>b</sup>  | 0.012 | 0.000 2  |
| 肉豆蔻一烯酸(C14:1)                      | 0.114 <sup>b</sup>  | 0.236 <sup>a</sup>   | 0.107 <sup>b</sup>  | 0.026 | 0.001 5  |
| 十五碳一烯酸(C15:1)                      | 0.066 <sup>b</sup>  | 0.141 <sup>a</sup>   | 0.040 <sup>b</sup>  | 0.016 | 0.000 2  |
| 棕榈油酸(C16:1)                        | 2.857 <sup>ab</sup> | 2.237 <sup>b</sup>   | 3.552 <sup>a</sup>  | 0.403 | 0.029 0  |
| 十七碳一烯酸(C17:1)                      | 0.121               | 0.147                | 0.153               | 0.011 | 0.052 2  |
| 油酸(C18:1 n-7)                      | 32.216              | 29.902               | 32.599              | 2.311 | 0.416 4  |
| 二十碳一烯酸(C20:1)                      | 0.387               | 0.323                | 0.350               | 0.025 | 0.083 5  |
| 芥酸(C22:1 n-9)                      | 0.054 <sup>b</sup>  | 0.095 <sup>a</sup>   | 0.036 <sup>b</sup>  | 0.010 | 0.000 2  |
| 二十四碳一烯酸(C24:1)                     | 0.052 <sup>b</sup>  | 0.100 <sup>a</sup>   | 0.031 <sup>b</sup>  | 0.010 | <0.000 1 |
| 亚油酸(C18:2 n-6, LA) <sup>a</sup>    | 18.718 <sup>b</sup> | 19.578 <sup>b</sup>  | 23.413 <sup>a</sup> | 1.024 | 0.003 2  |
| γ-亚麻酸(C18:3 n-6, GLA) <sup>a</sup> | 0.146 <sup>b</sup>  | 0.182 <sup>b</sup>   | 0.282 <sup>a</sup>  | 0.024 | 0.000 4  |
| α-亚麻酸(C18:3 n-3, ALA) <sup>a</sup> | 0.523 <sup>b</sup>  | 0.482 <sup>b</sup>   | 0.751 <sup>a</sup>  | 0.060 | 0.003 9  |
| 二十碳二烯酸(C20:2)                      | 0.333 <sup>a</sup>  | 0.342 <sup>a</sup>   | 0.210 <sup>b</sup>  | 0.027 | 0.001 8  |
| 二十碳三烯酸(C20:3 n-6)                  | 0.470 <sup>a</sup>  | 0.577 <sup>a</sup>   | 0.296 <sup>b</sup>  | 0.055 | 0.001 2  |
| 花生四烯酸(C20:4 n-6, ARA) <sup>a</sup> | 6.997 <sup>a</sup>  | 7.592 <sup>a</sup>   | 2.748 <sup>b</sup>  | 0.819 | 0.000 3  |
| 二十碳三烯酸(C20:3 n-3)                  | 0.059 <sup>b</sup>  | 0.114 <sup>a</sup>   | 0.037 <sup>b</sup>  | 0.011 | <0.000 1 |
| 二十碳五烯酸(C20:5 n-3, EPA)             | 0.075 <sup>a</sup>  | 0.102 <sup>a</sup>   | 0.029 <sup>b</sup>  | 0.010 | <0.000 1 |
| 二十二碳二烯酸(C22:2)                     | 0.082               | 0.125                | 0.018               | 0.037 | 0.051 9  |
| 二十二碳六烯酸(C22:6 n-3, DHA)            | 0.563 <sup>a</sup>  | 0.644 <sup>a</sup>   | 0.282 <sup>b</sup>  | 0.074 | 0.002 0  |
| 饱和脂肪酸(SFAs)                        | 36.168              | 37.091               | 35.066              | 0.915 | 0.129 3  |
| 单不饱和脂肪酸(MUFAs)                     | 35.865              | 33.176               | 36.866              | 2.107 | 0.226 2  |
| 多不饱和脂肪酸(PUFAs)                     | 27.970              | 29.731               | 28.066              | 1.339 | 0.387 1  |
| 不饱和脂肪酸(UFAs)                       | 63.832              | 62.909               | 64.934              | 0.915 | 0.129 3  |
| 必需脂肪酸(EFAs)                        | 26.387              | 27.832               | 27.196              | 1.236 | 0.415 7  |
| n-3(Omega-3)                       | 1.219 <sup>ab</sup> | 1.339 <sup>a</sup>   | 1.099 <sup>b</sup>  | 0.067 | 0.017 7  |
| n-6(Omega-6)                       | 26.334              | 27.928               | 26.739              | 1.257 | 0.377 8  |
| n-6/n-3                            | 21.814 <sup>b</sup> | 21.182 <sup>b</sup>  | 24.394 <sup>a</sup> | 0.762 | 0.006 0  |
| PUFAs/SFAs                         | 77.11               | 80.05                | 79.94               | 2.49  | 0.411 3  |

脂肪酸的95.52%。这与前人的研究结果类似<sup>[1,18-22]</sup>，表明北京油鸡腿肌脂肪酸的组成表现出一定的规律性和相对稳定性。

北京油鸡腿肌中UFAs占TFAs的比例为62.91%~64.93%，显著高于SFAs占TFAs的比例(35.07%~37.09%)，这与鸡肉脂肪通常呈现半固态

的物理状态相一致且与前人的研究结果一致<sup>[1,18,23]</sup>。研究表明，饱和脂肪酸的摄入不利于健康，而不饱和脂肪酸的摄入有益于健康<sup>[24]</sup>，结果证明了北京油鸡腿肉质优良且具有较高的营养价值。

### 3.3 日龄对北京油鸡腿肌脂肪酸分类的影响

有研究结果表明肌内脂肪酸组成及比例对风

味物质影响很大,氧化产物的不同是导致不同肉品风味差异的主要原因<sup>[25]</sup>。肌肉中不饱和脂肪酸的含量对肉质风味具有重要的作用,因为不饱和脂肪酸含量越高,烹饪过程中因热氧化而产生香味越浓郁,适口性越好<sup>[13, 22]</sup>。本试验结果发现TFAs、SFAs、MUFAs、PUFAs、UFAs、EFAs、n-3系列和n-6系列PUFAs等8类脂肪酸的绝对含量在300日龄具有最低值,且随着日龄的增长呈现先降低后升高的趋势。在脂肪酸分类的相对比例方面,300日龄的UFAs在数值上低于450日龄和150日龄,但日龄间差异不显著。说明日龄对腿肌脂肪酸绝对含量的影响要大于其对相对比例的影响,并且日龄对腿肌脂肪酸的影响主要体现在300日龄的饲养阶段上。有研究表明一些与脂肪酸代谢相关的基因能够显著影响禽类的产蛋性能<sup>[26, 27]</sup>。例如ACSF2已被证明与脂肪酸的合成显著相关<sup>[28]</sup>,其低表达可能通过抑制鹅卵巢的颗粒细胞凋亡并促进鹅卵泡发育来促进产蛋性能<sup>[29]</sup>,同时Tian等<sup>[27]</sup>研究表明肝脏中ACSF2基因的表达水平与鸡的产蛋性能有关。综合以上结果,推测日龄对腿肌脂肪酸绝对含量的影响可能与北京油鸡所处产蛋阶段相关,其影响机制需进一步开展试验加以验证。总之,本试验从脂肪酸绝对含量的角度证明北京油鸡150和450日龄的腿肌在营养及风味上要优于300日龄。

### 3.4 日龄对北京油鸡腿肌多不饱和脂肪酸的影响

本试验分别鉴定到n-3系列和n-6系列PUFAs各4种,其中DHA、ALA和ARA、LA分别是北京油鸡腿肌中主要的n-3系列和n-6系列PUFAs。北京油鸡腿肌n-6/n-3 PUFAs比例在450日龄(24.39:1)显著高于150日龄(21.81:1)和300日龄(21.18:1),这主要是由于n-3系列PUFAs在450日龄显著低于150和300日龄引起的。有研究表明,膳食及体内保持一定的n-6 PUFAs和n-3 PUFAs比例平衡对人类健康具有非常重要的作用<sup>[29]</sup>。ALA和LA分别作为n-3系列和n-6系列PUFAs的合成前体,其相对含量在450日龄的北京油鸡腿肌中极显著地高于150和300日龄,然而以其为前体物合成的ARA、EPA及DHA等PUFAs占TFAs的相对含量在450日龄低于150和300日龄。推测这可能是由于腿肌中脂肪酸转运、代谢等相关酶受到日龄的影响所造成的。此外,

北京油鸡腿肌PUFAs/SFAs在3个不同日龄中的比例范围为77.11%~80.05%,显著高于40%这一公认的优良肉质指标的标准<sup>[30]</sup>,说明北京油鸡具有较高食用价值和保健作用。

### 4 结 论

本研究结果从脂肪酸绝对含量的角度证明150和450日龄北京油鸡的腿肌在营养及风味上要优于300日龄,为北京油鸡腿肌的脂肪酸组成、绝对含量及相对比例等指标随日龄的变化提供了基础数据。

#### 参考文献:

- [1] 刘延丹,张曦,王珊珊,等.四种云南地方鸡胸肌脂肪酸的比较分析[J].黑龙江畜牧兽医,2018(1):13-17.
- [2] 荀文,王桂瑛,谷大海,等.鸡肉中脂肪酸的研究进展[J].食品研究与开发,2020,41(21):214-219.
- [3] BANASZAK M, KUZNIACKA J, BIESEK J, et al. Meat quality traits and fatty acid composition of breast muscles from ducks fed with yellow lupin[J]. Animal, 2020, 14(9): 1969-1975.
- [4] SMET S D, RAES K, DEMEYER D. Meat fatty acid composition as affected by fatness and genetic factors: a review[J]. Animal research, 2004, 53(2): 81-98.
- [5] MENSINK R P, KATAN M B. Effect of dietary fatty acids on serum lipids and lipoproteins. A meta-analysis of 27 trials[J]. Arteriosclerosis and thrombosis: a journal of vascular biology, 1992, 12(8): 911-919.
- [6] SIRIWARDHANA N, KALUPAHANA N S, MOUSTAID-MOUSSA N. Health benefits of n-3 polyunsaturated fatty acids: eicosapentaenoic acid and docosahexaenoic acid[J]. Advances in food and nutritional research, 2012, 65: 211-222.
- [7] LU J, BORTHWICK F, HASSANALI Z, et al. Chronic dietary n-3 PUFA intervention improves dyslipidaemia and subsequent cardiovascular complications in the JCR: LA-cp rat model of the metabolic syndrome[J]. British journal of nutrition, 2011,105(11): 1572-1582.
- [8] FIGUERAS M, OLIVAN M, BUSQUETS S, et al. Effects of eicosapentaenoic acid (EPA) treatment on insulin sensitivity in an animal model of diabetes: Improvement of the inflammatory status[J]. Obesity, 2011, 19(2): 362-369.
- [9] RONDANELLI M, GIACOSA A, OPIZZI A, et al. Long chain omega 3 polyunsaturated fatty acids supplementa-



- tion in the treatment of elderly depression: effects on depressive symptoms, on phospholipids fatty acids profile and on health-related quality of life[J]. *Journal of nutrition health and aging*, 2011, 15(1): 37-44.
- [10] 梅凤艳,王珊珊,杨秀娟,等. 武定鸡和尼西鸡腿肌脂肪与脂肪酸比较研究[J]. *家畜生态学报*, 2018, 39(4): 27-32.
- [11] 国家畜禽遗传资源委员会. 中国畜禽遗传资源志·家禽志[M]. 北京: 中国农业出版社, 2011: 16-19.
- [12] 赵丹阳,吴雨珊,李军国,等. 饲料添加亚麻籽和维生素E对北京油鸡鸡肉n-3多不饱和脂肪酸富集和抗氧化特性的影响[J]. *动物营养学报*, 2020, 32(11): 5243-5254.
- [13] 孙月娇,田河山,赵桂苹,等. 不同饲养方式对北京油鸡肌肉风味物质的影响[J]. *中国畜牧兽医*, 2014, 41(9): 89-94.
- [14] 吕学泽,杨卫芳,王梁,等. 不同饲养方式下北京油鸡产品风味和营养物质差异研究[J]. *食品研究与开发*, 2020, 40(4): 52-56.
- [15] 舒婷,沙尔山别克·阿不地力,姜维,等. 拜城油鸡肌肉脂肪沉积规律及其与肉品质的关联性分析[J]. *中国家禽*, 2018, 48(6): 5-9.
- [16] CUI H, ZHENG M, ZHAO G, et al. Identification of differentially expressed genes and pathways for intramuscular fat metabolism between breast and thigh tissues of chickens[J]. *BMC genomics*, 2018, 19(1): 55-63.
- [17] SAINI R K, KEUM Y S. Omega-3 and omega-6 polyunsaturated fatty acids: dietary sources, metabolism, and significance - a review[J]. *Life sciences*, 2018, 203: 255-267.
- [18] 常国斌,雷黎立,王克华,等. 文昌鸡肌肉脂肪酸组分的气相色谱-质谱联合分析[J]. *中国畜牧兽医*, 2010, 37(3): 41-44.
- [19] 梅凤艳,陶琳丽,黄伟,等. 不同性别武定鸡腿肌和胸肌脂肪酸含量比较分析[J]. *中国家禽*, 2015, 37(24): 10-13.
- [20] 潘雨时,热娜古丽·木沙,陈悦,等. GC-MS分析新疆拜城油鸡和南京土鸡鸡皮脂质中脂肪酸组成[J]. *食品科学*, 2015, 36(16): 122-126.
- [21] 李红伟,陈圆,黄泳诗,等. 惠阳胡须鸡日龄与肌肉脂肪酸组成及含量关系的分析[J]. *中国家禽*, 2016, 38(21): 58-61.
- [22] 李文嘉,孙全友,魏凤仙,等. 饲养方式对北京油鸡生长和屠宰性能、肉品质以及肌肉脂肪酸含量的影响[J]. *动物营养学报*, 2019, 31(4): 1585-1595.
- [23] 朱仁俊,唐臻睿,黄启超,等. 武定鸡肌肉脂肪酸含量比较研究[J]. *安徽农业科学*, 2012, 40(8): 4607-4608.
- [24] 周晶晶,李家速,王奇金. Omega-3多不饱和脂肪酸对代谢调节作用研究进展[J]. *第二军医大学学报*, 2019, 40(1): 68-73.
- [25] 葛凯,余道伦,左瑞华,等. 家禽肌肉脂肪沉积分子机制及与肉质关系最新研究进展[J]. *皖西学院学报*, 2020, 36(2): 54-60.
- [26] YU S, WEI W, XIA M, et al. Molecular characterization, alternative splicing and expression analysis of ACSF2 and its correlation with egg-laying performance in geese[J]. *Animal genetics*, 2016, 47(4): 451-462.
- [27] TIAN W, ZHENG H, YANG L, et al. Dynamic expression profile, regulatory mechanism and correlation with egg-laying performance of ACSF gene family in chicken (*Gallus gallus*)[J]. *Scientific reports*, 2018, 8(1): 8457.
- [28] YAMASAKI M, HASEGAWA S, SUZUKI H, et al. Acetyl-CoA synthetase gene is abundant in rat adipose, and related with fatty acid synthesis in mature adipocytes[J]. *Biochemical and biophysical research communications*, 2005, 335(1): 215-219.
- [29] SIMOPOULOS A P. Evolutionary aspects of diet, the omega-6/omega-3 ratio and genetic variation: nutritional implications for chronic diseases[J]. *Biomedicine and pharmacotherapy*, 2006, 60(9): 502-507.
- [30] 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.

