

日粮中添加不同油脂对鸡蛋工艺特性及质构指标的影响

郜周阳¹, 徐桂云¹, 杨静¹, 李福伟², 时学峰¹, 郑江霞^{1*}

(1. 中国农业大学动物科技学院, 北京 100193; 2. 山东省农业科学院家禽研究所, 济南 250100)

摘要: **目的** 分析蛋鸡日粮添加不同来源油脂对鸡蛋工艺特性及质构指标的影响。**方法** 在玉米-豆粕型基础日粮的基础上, 分别添加 1.5%豆油、1.5%猪油、1.5%混合油脂, 试验期结束后检测鸡蛋的工艺性能, 并利用物性分析仪测定蛋品的质构特性。**结果** 在工艺特性指标上: 与对照组相比, 在日粮中添加 1.5%的豆油对鸡蛋的起泡性、乳化性及功能稳定性不会造成显著差异($P>0.05$), 但会显著降低蛋清的凝胶硬度($P<0.05$); 而在日粮中添加 1.5%猪油和 1.5%混合油脂后, 会降低蛋清起泡性和蛋黄乳化性, 同时不会对鸡蛋的功能稳定性造成显著差异($P>0.05$)。质构指标上: 与对照组相比, 添加 1.5%豆油在熟蛋黄的硬度、弹性、凝聚性、胶黏性、咀嚼性、回复性、蛋黄膜破裂、最大剪切力指标上无显著区别($P>0.05$); 添加 1.5%猪油和 1.5%混合油脂会显著增加熟蛋黄的硬度、胶黏性($P<0.05$), 但在弹性、凝聚性、回复性、蛋黄膜破裂强度无显著差别($P>0.05$); 但添加 1.5%的猪油处理组会显著增加熟蛋黄的胶黏性、咀嚼性、最大剪切力($P<0.05$)。**结论** 在鸡蛋工艺特性上, 日粮中添加 1.5%豆油未对鸡蛋起泡性、乳化性造成显著影响, 但显著降低了蛋清的凝胶硬度($P<0.05$), 而添加不同油脂后会不同程度对鸡蛋工艺特性造成负面影响; 在鸡蛋质构指标上, 日粮中添加 1.5%豆油未对鸡蛋质构指标造成显著负面影响, 而添加不同油脂后会不同程度对鸡蛋工艺特性造成负面影响。

关键词: 日粮; 鸡蛋; 油脂; 乳化性; 起泡性; 凝胶; 质构

Effects of adding different kinds of oils to the diet on the technological characteristics and texture indexes of eggs

GAO Zhou-Yang¹, XU Gui-Yun¹, YANG Jing¹, LI Fu-Wei², SHI Xue-Feng¹, ZHENG Jiang-Xia^{1*}

(1. College of Animal Science and Technology, China Agricultural University, Beijing 100193, China; 2. Poultry Institute, Shandong Academy of Agricultural Sciences, Jinan 250100, China)

ABSTRACT: Objective To analyze the effects of different sources of oils in laying hens diets on the technological properties and texture indexes of eggs. **Methods** The 1.5% soybean oil, 1.5% lard and 1.5% mixed oils were added on the basis of corn-soybean meal basal diet respectively. After the experiment period, the technological properties of eggs were tested, and the texture properties of eggs were tested by physical property analyzer. **Results** In terms of technological properties: Compared with the control group, the addition of 1.5%

基金项目: 现代农业产业技术体系建设专项(CARS-40)

Fund: Supported by the Special Fund for the Industrial System Construction of Modern Agriculture of China (CARS-40)

*通信作者: 郑江霞, 副教授, 主要研究方向为禽产品品质评价及其遗传机制研究。E-mail: jxzheng@cau.edu.cn

*Corresponding author: ZHENG Jiang-Xia, Associate Professor, College of Animal Science and Technology, China Agricultural University, No.2, Yuanmingyuan West Road, Haidian District, Beijing 100193, China. E-mail: jxzheng@cau.edu.cn

soybean oil to the diet did not cause significant differences in the foaming, emulsifying and functional stability of eggs ($P>0.05$), but significantly decreased the gel hardness of albumen ($P<0.05$); the addition of 1.5% lard and 1.5% mixed oils reduced the foamability of albumen and the emulsibility of egg yolk, there was no significant difference in the functional characteristics of eggs ($P>0.05$). In terms of texture indexes: Compared with the control group, adding 1.5% soybean oil has no effect on the hardness, springiness, cohesiveness, gumminess, chewiness, resilience, yolk membrane strength, maximum shearing force were no significant difference ($P>0.05$); adding 1.5% lard and mixed oils significantly increased the hardness and gumminess of cooked egg yolk ($P<0.05$), but the springiness, resilience and yolk membrane strength were no significant difference ($P>0.05$); however, 1.5% lard group significantly increased the gumminess, chewiness and maximum shearing force of cooked egg yolk ($P<0.05$). **Conclusions** In terms of egg technological characteristics, the addition of 1.5% soybean oil in the diet does not significantly affect the foaming and emulsifying properties of eggs, while significantly reduce the gel hardness of albumen ($P<0.05$). In terms of egg texture index, the addition of 1.5% soybean oil in the diet does not have a significant negative impact on egg texture indicators, while adding different oils will have a negative impact on egg technology properties to varying degrees.

KEY WORDS: diet; eggs; oils; emulsifying; foaming; gelling; texture

0 引言

鸡蛋作为人类膳食的重要组成部分,含有丰富的脂类、蛋白质、氨基酸、维生素及矿物质元素^[1-2]。此外,鸡蛋也具有良好的工艺特性如起泡性、凝胶性、乳化性等,因此也被广泛应用于食品加工制造领域^[3]。目前,随着人们生活方式的转变,我国消费者对食品的功能性和健康性提出了更高的要求,蛋品加工比例逐年上升,蛋品深加工和产业化将是未来的发展重点。

蛋清由多种蛋白质组成,它们构成了蛋清的凝胶特性及起泡性。蛋清功能特性不仅应用于食品加工制作,也在日化及其他领域广泛应用^[4]。蛋清的起泡能力是指液体在外界的条件下生成泡沫的难易程度,表面张力越低越有利于起泡;泡沫稳定性是指泡沫生成后的持久性^[5]。蛋清的凝胶特性被用做增稠剂、持水剂和稳定剂等,将其添加到面制品中可以明显改善产品的质构及风味^[6]。蛋黄主要由卵磷脂、胆固醇和脂蛋白构成,决定了蛋黄的乳化能力,是制造蛋黄酱、沙拉调味酱及焙烤食品时起乳化作用的重要配料^[7]。蛋黄因其高营养及良好的乳化性已广泛应用食品的加工过程或直接加工成蛋黄粉作为初级产品,如:高乳化性蛋黄粉、改性蛋黄加工蛋黄酱、改性蛋黄加工面包等^[8]。蛋黄乳化能力的大小通常用乳化容量来衡量,一般情况下,乳化容量越大,表示蛋黄的乳化能力越强^[7]。食物的质构品质也是评价食品功能特性的主要指标,目前主要利用质构仪中的质地多面剖析法(texture profile analysis, TPA)来测定蛋品的硬度、弹性、回复性、胶黏性、内聚性、咀嚼性、剪切力等参数^[9]。蛋黄膜是鸡蛋内部的一种主要由蛋白质组成的多层膜,其强度则反应了蛋黄膜对外力的承受程度,可以间接的反映出鸡蛋品质的优劣程度^[10]。

由于蛋清和蛋黄中存在大量的蛋白质,因此其功能特性和质构特性会受到诸多因素影响。影响鸡蛋起泡性的因素有很多,如:物理因素有温度、机械处理等;化学因素有糖基化、磷酸化、脂类浓度等影响^[11-12]。目前有研究表明,环境的酸碱度、机械压力、离子浓度、温度、水分含量等会导致鸡蛋蛋白质的凝集,进而会改变凝胶形态和形状^[13]。蛋黄乳化性质则受到干燥、冷藏等条件的影响。水分含量对蛋黄的乳化性影响比较大,水分含量越高,蛋黄的乳化液稳定性越小^[14]。鸡蛋质构参数的变化主要与蛋白质的含量高低、蛋白变性凝胶及降解程度有关,鸡蛋的蛋白质含量越高,凝胶程度就越大,咀嚼性和硬度就越大,同时与鸡蛋的蒸煮时间也有很大关系^[15-16]。

目前,国内发展最快的是液蛋及功能化蛋粉,生产者通常在蛋鸡养殖中添加许多活性及营养成分(如:茶多酚^[17]、粗粮粉^[18]、食品添加剂^[19]、黄原胶等^[20])来提高蛋黄(粉)或蛋清的乳化特性及凝胶特性。在畜禽生产中,油脂作为一种在蛋鸡日粮配方中不可或缺的能量饲料添加剂,通常添加1.5%左右的剂量来满足其生产生长需求^[21],通常被分为植物性油脂、动物性油脂及混合油脂。目前,使用外源添加剂来改变鸡蛋功能特性的研究大多集中在通过体外方式对蛋清或蛋黄进行处理或研究储藏条件与时间对鸡蛋功能与质构特性的影响^[3],且关于外源添加剂对鸡蛋功能特性及质构指标的影响也多集中在食盐、淀粉、葡萄糖等,关于通过在日粮中添加油脂对鸡蛋的工艺特性及质构指标的影响还鲜有报道,值得进一步研究和探讨。因此,本研究旨在研究日粮中添加不同种类油脂对鸡蛋功能特性及质构特性的影响,以期为未来的蛋品加工与生产开发利用提供相关参考依据。

1 材料与方 法

1.1 材料、试剂

基础饲料购买于山东北农大科技股份有限公司(营养成分如表 1), 网上订购豆油(鲁花非转基因浓香型大豆油 5 L, 山东鲁花集团有限公司); 猪油(金锣精制食用猪油 1 kg/桶, 临沂新程金锣肉制品集团有限公司); 混合油脂(混合油脂由大豆油、大豆磷脂油、椰子油、稻米油、抗氧化剂组成, 山东北农大科技股份有限公司); 十二烷基硫酸钠(分析纯, 国药集团化学试剂有限公司)。

表 1 饲料原料及营养组成
Table 1 Feed ingredients and nutritional composition

原料组成	组成比例/%
玉米	61
豆粕	24
麦麸	2.5
石粉	8.5
预混料 ¹	4
营养组成	
代谢能/(kJ/100 g)	1287
粗蛋白/(g/100 g)	16
蛋氨酸/(g/100 g)	0.2
赖氨酸/(g/100 g)	0.75
钙/(mg/kg)	3.16×10^4
磷/(mg/kg)	3.21×10^3
氯化钠/(g/100 g)	0.3
水分/(g/100 g)	≤ 10

注: ¹预混料: 每 kg 日粮提供的维生素预混料: 维生素 A, 200000 IU, 维生素 D₃, 100000 IU, 维生素 E ≥ 300 IU, 维生素 K₃ ≥ 60 mg, 维生素 B₁ ≥ 45 mg, 维生素 B₂ ≥ 154 mg, 维生素 B₆ ≥ 61 mg, 烟酸 ≥ 700 mg, 叶酸 ≥ 21.9 mg, 泛酸 ≥ 241.5 mg。每 kg 日粮提供的矿物质预混物: 锰 2.5 g、锌 2 g、铁 15.75 g、铜 0.4 g、碘 20 mg、硒 10 mg。

1.2 设备与仪器

Sceural1103-1CEU 电子分析天平(精度 0.1 g, 北京赛多利斯科学仪器有限公司); AM-128 打蛋机(中山市鹰创电器有限公司); pHS-3C 精密 pH 计(上海精密科学仪器有限公司); A-XT plus 质构仪(英国 SMS 公司); DL-435 电动搅拌器(广东东菱电器有限公司); FJ300-S 高速匀浆机(常州诺基仪器有限公司)。

1.3 饲养管理

试验场地选在山东省农业科学院家禽所试验基地。

选取 40 周龄体重相近的海兰褐蛋鸡 480 只, 笼养。试验鸡随机分为 4 个大组(3 个试验组、1 个对照组), 每个大组 120 只鸡, 组内设 3 个重复小组, 每个小组 40 只鸡。对照组饲喂全价的玉米-豆粕型基础日粮, 试验组分别在玉米-豆粕型日粮基础上添加相同水平(1.5%)的大豆油、猪油和混合油脂。根据国家科研委员会(National Scientific Research Council, NRC)的饲养标准^[22], 选择玉米和豆粕作为主要日粮成分, 按照合适比例, 组成玉米-豆粕型基础日粮。预饲期 7 d, 试验期 14 d, 舍温在(23 \pm 2) $^{\circ}$ C 左右。在预饲期内观察鸡蛋的产蛋、采食和健康情况。在试验的最后 1 d, 收集全部鸡蛋用于鸡蛋工艺特性及质构指标的测定。

1.4 检测指标及方法

1.4.1 蛋黄乳化性及乳化稳定性

将收集的鸡蛋随机选取 15 个放在 4 $^{\circ}$ C 冰箱冷藏, 根据 DOROTHY 等^[23]的方法进行打蛋操作, 首先将鸡蛋打破后, 将蛋液放置于分蛋器上以便蛋黄与蛋清分离, 用镊子除去多余的蛋清及系带, 再将蛋黄轻放在吸水纸上来回滚动, 以去除蛋黄膜上残余的蛋清, 刺穿蛋黄膜, 使得蛋黄内容物流入洁净的烧杯中, 再用电动搅拌器慢速搅拌 5 min, 得到均匀蛋黄液。将盛有蛋黄液的烧杯用保鲜膜封口并放入 4 $^{\circ}$ C 冰箱过夜保存, 次日测定其乳化性, 每个样品测定 3 个平行样, 参考 KEVIN 等^[24]及陈海英^[25]的方法测定蛋黄的乳化性并略作修改, 取 20 mL 制备的蛋黄稀释液, 向其中加入 5 mL 大豆油(20%, V:V), 用高速匀浆机以 12000 r/min 的转速匀浆 1 min。乳液制备好后, 立即从底部吸取 200 μ L 乳状液, 加入 20 mL 0.1% (m:V) 十二烷基硫酸钠(sodium dodecyl sulfate, SDS)溶液进行稀释, 将稀释液漩涡振荡。将稀释后的乳液在紫外可见分光光度计 500 nm 处测定吸光值。乳化性(emulsifying activity index, EAI)以公式(1)计算获得:

$$EAI = \frac{4.606 \times A_0 \times D}{C \times (1 - \Phi) \times 10} \quad (1)$$

式中 A_0 : 500 nm 下的吸光度; D : 乳状液稀释倍数, 100; C : 蛋白质水溶液的质量浓度, mg/mL; Φ : 乳液中油的添加比例, 0.2。

1.4.2 蛋清起泡性和泡沫稳定性

鸡蛋收集与保存同 1.4.1。每个样品测定 3 次平行样, 将打破后的鸡蛋用分蛋器将蛋黄分离出去, 用玻璃棒搅匀蛋清, 获得蛋清液, 取液面高度为 h ($h \leq$ 离心管高度的 1/3) 的蛋清液于 50 mL 离心管内, 用高速匀浆机以 12000 r/min 的转速搅打 1 min, 用刻度尺读取液面高度 h_1 (cm) 泡沫总高度 h_2 (cm), 每组样品做 3 次平行, 取平均值, 起泡性计算方法如公式(2)。

$$\text{起泡性}/\% = \frac{h_2 - h_1}{h_1} \times 100 \quad (2)$$

将搅打后的样品静置 30 min, 用刻度尺读取液面高度

h_1' 和泡沫总高度 h_2' , 每组样品做 3 次平行, 取平均值, 泡沫稳定性计算方法如公式(3)。

$$\text{泡沫稳定性}/\% = \frac{h_2' - h_1'}{h_2 - h_1} \times 100 \quad (3)$$

1.4.3 蛋清凝胶特性

鸡蛋收集与保存同 1.4.1, 蛋清液制备同 1.4.2。取蛋清液 20 mL 于烧杯中, 85℃加热 0.5 h, 取出后降温, 4℃冰箱过夜贮存。进行质构测定时, 先将蛋清液凝胶温度恢复至室温, 然后用 A-XT plus 质构分析仪进行测量, 质构参数设置为测前速度, 测试速度, 侧后速度均为 1 mm/s, 下压形变 70%, 触发力 10×g。

1.4.4 鸡蛋质构指标的测定

将收集的鸡蛋放在 4℃冰箱保存 7 d, 用于质构指标的测定。

(1) 熟蛋黄 TPA 的测定

每个处理组随机选取 20 枚鸡蛋用于 TPA 的测定并进行预处理。预处理过程如下: 将冷藏之后的每个组的鸡蛋置于沸水之中煮沸 10 min 后, 取出并冷却至室温, 制备熟蛋黄。手动剥除蛋壳和熟蛋白, 将完整无破损的蛋黄至于检测板上进行双重压缩测试, 将熟蛋黄样品放在探头正下方, 相距约 3 mm 并使用食品物性分析仪测定熟蛋黄的质构指标(硬度、弹性、凝聚性、胶黏性、咀嚼性、回复性)。质构仪采用 SMS P50 型探头, 设置参数如下: 挤压测试前速率、测试速率、测试后速率均为 0.50 mm/s, 时间间隔 5 s, 触发力为 5.0×g。

(2) 熟蛋黄剪切力的测定

每个处理组随机选取 20 枚鸡蛋用于剪切力的测定, 鸡蛋煮熟方法和条件同上。采用 SMSA/BC 型号的探头测试熟蛋黄的剪切力, 测试参数如下: 预压速度 1.0 mm/s, 下压速度为 0.5 mm/s, 压后上行速度 10.00 mm/s, 剪切距离为蛋黄直径的 80%, 触发力为 5×g。

(3) 生蛋黄蛋黄膜的测定

每个处理组随机选取 20 枚鸡蛋用于蛋黄膜强度的测定。打开蛋壳, 去除蛋清, 将蛋黄置于过滤纸上。用 SMSA/BC 型号的探头测定其蛋黄膜强度。将蛋黄放到测

试台上, 测定模式选择压缩, 测试速度 0.5 mm/s, 触发点负载 2.0×g。记录蛋黄膜破裂的瞬间蛋黄膜所承受的质量即蛋黄膜强度(N)。

1.5 数据处理

数据采用 Excel 进行初步处理, 用 SPSS 25 软件进行统计分析。采用 Duncan 氏多重比较法进行显著性检验, 试验数据用平均值表示, $P < 0.05$ 表示差异显著, $P > 0.05$ 表示差异不显著。试验结果以(平均值±标准偏差)表示。

2 结果与分析

2.1 油脂对鸡蛋起泡性和乳化性的影响

在日粮中添加不同油脂后对鸡蛋的功能特性影响如表 2 所示。试验结果表明不同油脂对鸡蛋的功能特性影响是不同的, 其中豆油组提高了鸡蛋的起泡性和乳化性, 但未造成显著性影响, 而猪油组和混合油脂组均显著影响了鸡蛋的起泡性和乳化性。在蛋清功能指标上, 对照组相比, 1.5%猪油和混合油脂的添加显著降低了蛋清的起泡性($P < 0.05$); 在泡沫稳定性上, 各个处理组之间均无显著差异($P > 0.05$)。在蛋黄功能指标上, 1.5%豆油组的蛋黄乳化性最高; 与对照组相比, 只有混合油脂的添加显著降低了蛋黄乳化性($P < 0.05$), 其他油脂的添加对蛋黄乳化性无显著影响; 在乳化稳定性上, 各个处理组之间均无显著差异($P > 0.05$)。因此, 豆油组对鸡蛋起泡性和乳化性的作用效果要优于猪油和混合油脂组。

2.2 油脂对蛋清凝胶特性的影响

在蛋鸡日粮中添加不同油脂对蛋清的凝胶特性结果见表 3。与对照组相比, 添加 1.5%的豆油显著降低了蛋清的硬度、破裂强度($P < 0.05$); 添加 1.5%的混合油脂会显著提高蛋清凝胶的破裂强度和破裂距离($P < 0.05$); 添加 1.5%猪油在蛋清凝胶特性指标上无显著差异($P > 0.05$)。因此, 在工艺性能上, 豆油的添加对蛋清凝胶特性的改变要优于猪油和混合油脂组。

表 2 日粮中添加不同油脂对鸡蛋起泡性和乳化性的影响($n=15$)
Table 2 Effects of adding different kinds of oils to the diet on the foaming and emulsifying properties of eggs ($n=15$)

指标	对照组	1.5%豆油	1.5%猪油	1.5%混合油脂
蛋清起泡性/%	130.84±2.76 ^a	131.17±1.62 ^a	84.21±0.86 ^b	75.11±4.36 ^c
泡沫稳定性/%	85.13±1.51	86.99±4.38	90.90±3.20	93.50±3.04
蛋黄乳化性/(m ² /g)	3.78±0.19 ^{ab}	3.86±0.19 ^a	2.86±0.12 ^b	2.06±0.05 ^c
乳化稳定性/min	5.22±0.03	5.29±0.08	5.26±0.09	5.29±0.02

注: 同行标有不同小写字母者表示组间差异显著($P < 0.05$); 无字母者表示组间差异不显著($P > 0.05$), 下同。

表 3 日粮中添加不同油脂对蛋清凝胶特性的影响($n=15$)
Table 3 Effects of adding different kinds of oils to the diet on the properties of albumen gel ($n=15$)

指标	对照组	1.5%豆油	1.5%猪油	1.5%混合油脂
破裂强度/g	588.92±108.05 ^b	502.94±111.97 ^c	583.33±97.73 ^b	621.06±81.76 ^a
破裂距离/mm	5.52±1.17 ^b	6.77±1.05 ^{ab}	5.15±0.24 ^b	7.60±0.62 ^a
硬度/g	985.70±62.50 ^a	871.86±22.92 ^b	956.91±74.18 ^{ab}	1047.95±34.27 ^a

2.3 油脂对蛋黄 TPA 的影响

由表 4 可知, 不同油脂的添加对蛋黄 TPA 指标中的硬度、胶黏性造成了显著影响, 其原因可能是油脂中的某些物质使熟蛋黄的质构发生了改变, 也可能是不同油脂的添加改变了熟蛋黄中不饱和脂肪酸含量和占比。相较于豆油组, 猪油组和混合油脂组对熟蛋黄 TPA 的负面影响较大。与对照组相比, 添加 1.5%猪油、混合油脂的试验组显著增加了熟蛋黄的硬度($P<0.05$), 而 1.5%豆油组无显著差异($P>0.05$); 1.5%的猪油添加显著提高了熟蛋黄的咀嚼性和胶黏性($P<0.05$)。在弹性、凝聚性、回复性指标上各个处理组之间均无显著差异($P>0.05$)。

2.4 油脂对蛋黄膜强度及剪切力的影响

在禽蛋检测指标中, 蛋黄膜强度可以间接反应蛋品

质的优劣, 且蛋黄膜强度较高的鸡蛋更加适用于液蛋的生产。表 5 结果显示, 在饲料中添加不同的油脂后, 油脂对蛋黄的蛋黄膜强度、剪切力影响效果有限。与对照组相比, 不同油脂的添加不会对生蛋黄膜强度造成显著差异; 但添加 1.5%混合油脂后会显著增加蛋黄的破裂形变($P<0.05$)。各处理组蛋黄剪切力结果见表 6, 与对照组相比, 添加 1.5%混合油脂只显著增加了单位剪切面积能耗($P<0.05$), 在其他剪切力指标上无显著差异($P>0.05$); 添加 1.5%的猪油会显著增加了熟蛋黄最大剪切力、剪切能量、单位剪切面积受力、单位剪切面积能耗($P<0.05$); 但添加 1.5%的豆油、混合油脂对熟蛋黄的最大剪切力、剪切能量、剪切深度、单位剪切面积受力指标上差异不显著($P>0.05$)。

表 4 日粮中添加不同油脂对熟蛋黄 TPA 的影响($n=20$)
Table 4 Effects of adding different kinds of oils to the diet on TPA of cooked egg yolk ($n=20$)

指标/TPA	对照组	1.5%豆油	1.5%猪油	1.5%混合油脂
硬度/g	171.10±14.68 ^c	173.65±17.20 ^c	208.29±18.15 ^a	191.27±18.02 ^b
弹性/mm	0.90±0.04	0.89±0.03	0.89±0.03	0.89±0.03
凝聚性	0.89±0.05	0.90±0.02	0.86±0.05	0.90±0.02
胶黏性	154.74±14.68 ^c	155.78±16.29 ^c	180.87±20.14 ^a	171.30±16.32 ^b
咀嚼性	137.92±13.09 ^b	138.04±16.09 ^b	164.49±19.20 ^a	149.60±14.36 ^{ab}
回复性	0.59±0.01	0.60±0.03	0.59±0.02	0.57±0.03

表 5 日粮中添加不同油脂对生蛋黄膜强度的影响($n=20$)
Table 5 Effects of adding different kinds of oils to the diet on the strength of raw egg yolk membrane ($n=20$)

	对照组	1.5%豆油	1.5%猪油	1.5%混合油脂
破裂强度/N	1.45±0.33 ^{ab}	1.35±0.32 ^b	1.41±0.26 ^{ab}	1.69±0.36 ^a
破裂形变/mm	5.73±0.84 ^b	5.90±0.61 ^{ab}	5.74±0.59 ^b	6.05±0.72 ^a

表 6 日粮中添加不同油脂对熟蛋黄剪切力的影响($n=20$)
Table 6 Effects of adding different kinds of oils to the diet on the shear force of cooked egg yolk ($n=20$)

指标	对照组	1.5%豆油	1.5%猪油	1.5%混合油脂
最大剪切力/N	0.93±0.08 ^b	1.01±0.11 ^{ab}	1.14±0.13 ^a	1.02±0.12 ^{ab}
剪切能量/(N·mm)	13.08±1.40 ^b	13.82±1.68 ^{ab}	15.60±2.29 ^a	14.83±1.64 ^{ab}
剪切深度/mm	27.16±0.65	27.41±1.07	27.92±1.15	27.45±0.61
单位剪切面积受力/(N/m ²)	100.49±11.38 ^b	107.95±16.77 ^{ab}	117.02±15.59 ^a	108.15±15.19 ^{ab}
单位剪切面积能耗/(mJ/m ²)	1414.33±158.47 ^c	1469.14±200.01 ^c	1608.87±220.92 ^a	1565.59±148.41 ^b

3 讨论

3.1 不同油脂对鸡蛋工艺特性的影响

鸡蛋除了含有丰富的营养物质之外,还具有溶解性、持水性等理化功能特性。在鸡蛋众多的理化特性之中,鸡蛋的工艺特性与食品加工密切相关^[26]。鸡蛋的工艺特性通常是指鸡蛋被用做食品深加工等功能特性,通常包括蛋清的起泡性、凝胶性、蛋黄的乳化性等^[27]。目前,功能性蛋品的加工占中国市场的比例也越来越大,如何在食品加工领域有效提高并合理利用鸡蛋的功能特性也逐渐成为研究热点^[28]。本研究结果显示,在蛋鸡基础日粮中添加不同油脂对蛋清起泡性、凝胶性、蛋黄乳化性的作用效果是不同的。在基础日粮中添加豆油不会对鸡蛋的起泡性、乳化性造成差异影响($P>0.05$),但会降低蛋清的凝胶硬度;添加猪油和混合油脂后会显著降低蛋清的起泡性、乳化性($P<0.05$),但在蛋清硬度指标上无明显差异($P>0.05$)。通常来讲,蛋清的起泡性、蛋黄的乳化性与食品加工特性呈正相关,而蛋清凝胶硬度越大则反映了蛋清蛋白质硬度增加,直接影响了鸡蛋直接食用的适口性^[29]。蛋清和蛋黄主要是由蛋白质和脂蛋白构成,其中蛋白质分子的扩散速度和相互作用影响了鸡蛋的工艺特性^[30]。豆油主要是由大豆提炼而成,含有丰富的不饱和脂肪酸;猪油主要是由脂肪组成,饱和脂肪酸含量较多;混合油脂是由不同油脂按一定比例混合制成。蛋鸡的脂类物质大多积累在肝脏中,同时肝脏作为蛋鸡最大的消化腺对蛋鸡的生产性能发挥重要的作用,油脂作为饲料添加剂,除了可以给蛋鸡补充额外的能量之外,也可以影响蛋鸡的脂质代谢,进而对蛋黄沉积及活性产生影响^[31]。从本研究结果可以初步推断出,由于油脂中的饱和脂肪酸和不饱和脂肪酸含量不同,改变了蛋鸡脂质代谢及鸡蛋蛋白结构功能,进而鸡蛋工艺性能造成了不同的影响。从本研究测定的指标分析发现:与对照组相比,豆油组未对鸡蛋的工艺特性造成显著差异,而猪油组和混合油脂组会不同程度降低鸡蛋的工艺特性。

3.2 不同油脂对鸡蛋质构指标的影响

鸡蛋的质构特性是评价食品质量和功能特性的指标,是我国消费者对产品消费和喜好的重要依据^[32]。质构仪中的 TPA 检测是指用机器模拟人牙齿咀嚼食物的过程,根据探头检测到压力来反应口腔中的牙齿和上腭所能感受到的食物质地结构硬度样品在达到一定的变形时所必要的力^[19]。弹性反映去除压力后,变形样品恢复的程度;凝胶性形成食品所需要的内部结合力;胶黏性反映样品被吞咽前破碎它所需要的力;咀嚼性用于描述咀嚼吞咽物品时所需做的功;回复性表示反映物品受压后迅速恢复变形的能力。鸡蛋的 TPA 指标在糕点制作、蛋品加工发挥了重

要作用。弹性、回复性数值越大,食物品质越好、爽口不粘牙,与蛋糕品质呈正相关;而硬度、咀嚼性、胶黏性数值越大,蛋糕吃起来越硬,缺乏弹性、与蛋糕品质呈负相关^[33]。从本研究结果来看,与对照组相比,在蛋鸡日粮中添加 1.5%猪油和混合油脂会显著提高熟蛋黄的硬度、胶黏性,1.5%猪油会显著提高咀嚼性($P<0.05$);但 1.5%豆油处理与对照组在硬度、胶黏性、咀嚼性指标上无显著差异($P>0.05$)。各个处理组在弹性、凝聚性、回复性指标上无差异显著($P>0.05$)。蛋黄膜强度和剪切力作为蛋品质的研究指标,但相关研究较少^[16]。蛋黄膜富有弹性,可以起到对蛋黄和胚胎的保护作用,有效防止蛋清和蛋黄混合。随着时间的延长,蛋黄中的水分会逐渐增大,造成蛋黄膜破裂;较好的蛋黄膜强度可以有效防止鸡蛋在运输过程中因外界因素导致蛋黄膜破裂,使蛋黄内容物外溢,形成散黄蛋,造成经济损失^[15]。鸡蛋质构参数的变化主要与蛋白质的含量高低及蛋白变性凝胶及降解程度有关^[10],本研究结果表明,添加不同种类的油脂后,并不会对鸡蛋的蛋黄膜强度及熟蛋黄剪切力造成显著影响。因此,推测本研究可能是油脂的作用效果并未对鸡蛋中蛋白质的含量造成显著影响。从本研究测定的指标分析发现:与对照组相比,各个组之间在蛋黄剪切力、蛋黄膜强度指标上,差异较小,但猪油组和混合油脂组均显著增加了熟蛋黄的硬度,降低了消费者的食用口感。

4 结论

随着集约化、规模化的养殖,油脂作为能量饲料可以有效提高蛋鸡生产性能、改善蛋品质,促进脂质代谢,因此被广泛添加在蛋鸡的饲料中。目前,蛋鸡饲用油脂主要分为植物性油脂、动物性油脂、混合油脂。豆油是在蛋鸡生产中应用最为广泛的一种植物性油脂来源。猪油作为动物性油脂,其价格同比豆油较低也较为广泛使用。混合油脂虽然是目前的研究热点,但由于不同种类油脂的互相影响,也会使得其作用效果难以控制和解释,其混合种类和比例值得深入研究。因此,为了满足蛋鸡生长对能量的需求之外并结合本研究添加同一水平(1.5%)的不同油脂对鸡蛋工艺性、质构性结果来看,初步建议在蛋鸡日粮中添加 1.5%豆油。

参考文献

- [1] 唐修君,高玉时,葛庆联,等.不同鸡种鸡蛋品质及营养成分比较研究[J].家畜生态学报,2014,35(1):35-38.
TANG XJ, GAO YS, GE QL, et al. Comparative study on the egg qualities and nutrient content of different layers breeds [J]. J Anim Ecol, 2014, 35(1): 35-38.
- [2] 张莹,黄英飞,莫国东,等.不同品种蛋鸡的蛋品质及营养成分比较[J].当代畜禽养殖业,2020,(6):7-9.
ZHANG Y, HUANG YF, MO GD, et al. Comparison of egg quality and

- nutritional components of different breeds of laying hens [J]. *Mod Anim Husb*, 2020, (6): 7-9.
- [3] 孙强, 迟玉杰, 胥伟. 糖基化反应对蛋清蛋白质凝胶性的影响[J]. *食品科学*, 2012, 33(5): 49-52.
SUN Q, CHI YJ, XU W. Effects of glycosylation on the gel of albumen protein [J]. *Food Sci*, 2012, 33(5): 49-52.
- [4] 郝二英, 陈辉, 檀晓萌, 等. 不同贮存温度条件对鸡蛋品质和质构特性的影响[J]. *家畜生态学报*, 2015, 36(5): 44-49.
HAO ERY, CHEN H, TAN XM, *et al.* Effects of different storage temperature conditions on egg quality and texture properties [J]. *J Anim Ecol*, 2015, 36(5): 44-49.
- [5] 王洋, 叶阳, 贾凤琼, 等. 不同多糖对鸡蛋清功能性质的影响[J]. *中国食品添加剂*, 2015, (5): 6.
WANG Y, YE Y, JIA FQ, *et al.* Effects of different polysaccharides on the functional properties of albumen [J]. *China Food Addit*, 2015, 5: 6.
- [6] 李俐鑫, 迟玉杰, 孙波. 蛋清蛋白质凝胶质构特性的研究[J]. *食品工业科技*, 2007, 28(8): 5.
LI LX, CHI YJ, SUN B. Study on the texture properties of albumen protein gel [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2007, 28(8): 5.
- [7] 黄丹, 马美湖, 蔡朝霞, 等. 磷脂酶 A1 改性制备高乳化性蛋黄粉的工艺条件优化[J]. *食品科学*, 2010, (6): 6.
HUANG D, MA MH, CAI ZX, *et al.* Optimization of process conditions for the preparation of highly emulsifiable egg yolk powder by modification of phospholipase A1 [J]. *Food Sci*, 2010, 6: 6.
- [8] 黄丽燕, 张强, 韩兆鹏, 等. 蛋黄乳化性研究进展[J]. *食品科技*, 2012, (12): 4.
HUANG LY, ZHANG Q, HAN ZP, *et al.* Research progress on emulsification of egg yolk [J]. *Food Sci Technol*, 2012, (12): 4.
- [9] 李玲, 徐舒, 曹如霞, 等. 基于 PCA-Entropy TOPSIS 的甘薯品种块根质构品质评价[J]. *中国农业科学*, 2020, 53(11): 12.
LI L, XU S, CAO RX, *et al.* Evaluation of tuber texture quality of sweet potato varieties based on PCA-entropy TOPSIS [J]. *China Agric Sci*, 2020, 53(11): 12.
- [10] 尤子牵, 李冰雁, 贾飞, 等. 运输后贮藏过程中鸡蛋品质变化的研究[J]. *食品工业科技*, 2020, 41(17): 279-285.
YOU ZQ, LI BY, JIA F, *et al.* Study on changes in egg quality during storage after transportation [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2020, 41(17): 279-285.
- [11] 王一博. 高起泡性蛋清液制备与应用研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2016.
WANG YB. Research on preparation and application of high foaming albumen liquid [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2016.
- [12] 迟玉杰, 赵英, 毋引子. 鸡蛋蛋清液起泡性的研究[J]. *中国家禽*, 2017, 39(3): 1-5.
CHI YJ, ZHAO Y, WU YZ. Study on the foaming property of egg albumen liquid [J]. *China Poul*, 2017, 39(3): 1-5.
- [13] 周光宏. 畜产品加工学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2002.
ZHOU GH. Animal product processing [M]. Beijing: China Agricultural Press, 2002.
- [14] 鄢茹辉. 蛋黄生物活性成分分离及功能特性研究[D]. 无锡: 江南大学, 2009.
YAN RH. Isolation and functional properties of bioactive components from egg yolk [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2009.
- [15] 金志强, 张锦胜, 刘玉环, 等. 利用核磁共振及成像原理研究鸡蛋的煮熟过程[J]. *食品工业科技*, 2008, (8): 3.
JIN ZQ, ZHANG JS, LIU YH, *et al.* Using nuclear magnetic resonance and imaging principles to study the cooking process of eggs [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2008, (8): 3.
- [16] 葛庆联, 刘茵茵, 马丽娜, 等. 煮制时间对鸡蛋质构特性的影响及相关性分析[J]. *江苏农业科学*, 2021, 49(7): 4.
GE QL, LIU YY, MA LN, *et al.* Effects of cooking time on egg texture properties and correlation analysis [J]. *Jiangsu Agric Sci*, 2021, 49(7): 4.
- [17] HUI X, XU M, LIAO MF, *et al.* Effects of tea and illicium verum braise on physicochemical characteristics, microstructure, and molecular structure of heat-induced albumen protein gel [J]. *Food Hydrocolloids*, 2021, DOI: 10.1016/j.foodhyd.2020.106181
- [18] 胡瑞, 李纯, 周文倩, 等. 杂粮粉对鸡蛋凝胶特性的影响[J]. *食品科学*, 2013, 34(23): 151-154.
HU R, LI C, ZHOU WQ, *et al.* Effect of multigrain powder on egg gel properties [J]. *Food Sci*, 2013, 34(23): 151-154.
- [19] 张映萍, 杨慧娟, 张晋, 等. 鸡蛋蛋白质凝胶特性影响因素的研究进展[J]. *食品工业科技*, 2021, 42(6): 343-347.
ZHANG YP, YANG HJ, ZHANG J, *et al.* Research progress on influencing factors of egg protein gel properties [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2021, 42(6): 343-347.
- [20] 张诗思, 金永国, 马美湖. 黄原胶-氯化钠提高蛋黄液乳化性的研究[J]. *中国家禽*, 2018, 40(4): 42-48.
ZHANG SY, JIN YG, MA MH. Study on improving the emulsification of egg yolk liquid by xanthan gum-sodium chloride [J]. *China Poul*, 2018, 40(4): 42-48.
- [21] 郭松林, 谌南辉. 饲用油脂在畜禽生产中的应用研究[J]. *饲料广角*, 2000, (14): 12-15.
GUO SL, CHEN NH. Research on the application of feed oil in livestock and poultry production [J]. *Feed China*, 2000, (14): 12-15.
- [22] DALE N. National research council nutrient requirements of poultry-ninth revised edition [J]. *J Appl Poul Res*, 1994, 3(1): 101.
- [23] DOROTHY DM, WOODBURN M. Gelation of frozen-defrosted egg yolk as affected by selected additives: Viscosity and electrophoretic findings [J]. *Poul Sci*, 1965, 44(2): 437-446.
- [24] KEVIN NP, KINSELLA J. Emulsifying properties of proteins: Evaluation of a turbidimetric technique [J]. *J Agric Food Chem*, 1978, 26(3): 716-723.
- [25] 陈海英. 鸡蛋卵黄高磷蛋白乳化特性研究[D]. 无锡: 江南大学, 2013.
CHEN HY. Study on emulsifying characteristics of egg yolk protein [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2013.
- [26] 徐珍珠. 蛋清蛋黄复配液的功能性质及其应用研究[D]. 无锡: 江南大学, 2013.
XU ZZ. Study on the functional properties and application of albumen and yolk compound liquid [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2013.

- [27] 麻小娟, 陈红兵, 高金燕. 鸡蛋清中卵白蛋白和卵类粘蛋白的高效分离[Z].
MA XJ, CHEN HB, GAO JY. Efficient separation of ovalbumin and ovomucoid from albumen [Z].
- [28] 张龙. 鸡蛋制品的研制及其功能特性的研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2003.
ZHANG L. Research on the development of egg products and their functional properties [D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2003.
- [29] 朱安南, 张克英, 王建萍, 等. 日粮中添加不同水平芦丁对产蛋后期蛋鸡生产性能、蛋品质及蛋清凝胶特性的影响[J]. 动物营养学报, 2021, 33(3): 1451–1460.
ZHU ANN, ZHANG KY, WANG JP, *et al.* Effects of different levels of rutin in the diet on the production performance, egg quality and albumen gel properties of laying hens in the later stage of laying [J]. *Chin J Anim Nutr*, 2021, 33(3): 1451–1460.
- [30] 孙嘉文, 卢晓明, 韩兆鹏, 等. 冷冻对蛋黄、蛋黄微粒和蛋黄浆液乳化性质的影响[J]. 食品工业, 2014, 35(9): 100–103.
SUN JW, LU XM, HAN ZP, *et al.* Effects of freezing on the emulsifying properties of egg yolk, egg yolk microparticles and egg yolk slurry [J]. *Food Ind*, 2014, 35(9): 100–103.
- [31] 夏中生. 产蛋鸡日粮中不同油脂对蛋黄脂质含量和脂肪酸组成的影响[J]. 西南农业学报, 2000, (4): 84–89.
XIA ZS. Effects of different fats and oils in laying hens diet on lipid content and fatty acid composition of egg yolk [J]. *Southwest Chin J Agric Sci*, 2000, (4): 84–89.
- [32] 黄丽燕, 张强, 刘文营, 等. 不同热处理方式对卤蛋蛋白的质构影响[J]. 食品工业, 2012, 33(9): 75–78.
HUANG LY, ZHANG Q, LIU WY, *et al.* Effects of different heat treatment methods on the texture of halogen egg protein [J]. *Food Ind*, 2012, 33(9): 75–78.
- [33] 刘海燕, 王晓梅, 张娟娟, 等. 海藻酸钠对海绵蛋糕品质的影响[J]. 粮油食品科技, 2014, 22(6): 4.
LIU HY, WANG XM, ZHANG JJ, *et al.* Effect of sodium alginate on the quality of sponge cake [J]. *Sci Technol Cere Oils Foods*, 2014, 22(6): 4.

(责任编辑: 韩晓红 郑 丽)

作者简介

郜周阳, 硕士, 主要研究方向为动物遗传育种与家禽品质检测。

E-mail: gaozhouyangcau@163.com

郑江霞, 副教授, 主要研究方向为禽产品品质评价及其遗传机制研究。

E-mail: jxzheng@cau.edu.cn