



张馨月, 闫倩楠, 杨泽豪, 等. 虾青素鸡蛋的营养活性及风味研究[J]. 轻工学报, 2025, 40(1): 41-48.  
ZHANG X Y, YAN Q N, YANG Z H, et al. Study on the nutritional activity and flavor of astaxanthin eggs[J].  
Journal of Light Industry, 2025, 40(1): 41-48. DOI: 10. 12187/2025. 01. 005

# 虾青素鸡蛋的营养活性及风味研究

张馨月<sup>1</sup>, 闫倩楠<sup>1</sup>, 杨泽豪<sup>2</sup>, 于淼<sup>2</sup>, 马挺军<sup>1</sup>

1. 北京农学院 食品科学与工程学院, 北京 102206;
2. 吉林万方沃土农业科技发展有限公司, 吉林 白山 134300

**摘要:** 以红发夫酵母源虾青素鸡蛋为研究对象, 通过与其他市售鸡蛋在营养物质、抗氧化能力、感官风味等方面进行对比, 评估该虾青素鸡蛋的整体品质。结果表明: 虾青素鸡蛋中虾青素含量达  $(58.34 \pm 0.49) \mu\text{g/g}$ , 与对照组鸡蛋相比, 其蛋白质含量增加了 12.74%, 脂肪含量降低了 11.34%, 对 DPPH、ABTS<sup>+</sup> 自由基的清除率分别提高了 96.96% 和 29.19%, 对胰脂肪酶的抑制率高达 53.98%, 具有较好的抗氧化能力和减脂效果; 虾青素鸡蛋的蛋黄为鲜艳的橘红色, 对硫化物、醇类、醛类、酮类、苯类和短链烷烃类风味物质的响应强烈, 口感甜绵细腻, 综合感官评分 (84.25 分) 最高。虾青素鸡蛋的营养价值、抗氧化能力、感官风味等均优于对照组鸡蛋和柴鸡蛋, 接近某品牌鸡蛋, 能较好地满足消费者对营养、健康功能型鸡蛋的追求。

**关键词:** 虾青素鸡蛋; 营养物质; 抗氧化活性; 减脂; 感官风味

**中图分类号:** TS253.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 2096-1553(2025)01-0041-08

## 0 引言

鸡蛋含有人体所需的优质蛋白质, 在居民膳食结构中占据重要位置<sup>[1]</sup>。通过调节蛋鸡日粮中营养组分的比例来获得富含功能性物质的鸡蛋, 不仅有利于提高鸡蛋的附加值、丰富其品类, 还能满足人们日常生活中对营养、健康食物的追求<sup>[2]</sup>。目前, 市场上功能型鸡蛋的品类越来越丰富, 西方国家的功能型鸡蛋已进入商业化生产阶段, 但国内的功能型鸡蛋市场仍处于逐步发展阶段, 与普通鸡蛋相比, 市场占比仅有 2% 左右<sup>[3]</sup>。其中, 叶酸功能蛋、富硒鸡蛋、 $\omega$ -3 多不饱和脂肪酸鸡蛋等为国内功

能型鸡蛋的主要品类<sup>[4-6]</sup>。

虾青素是一种红色的含氧类胡萝卜素, 抗氧化能力强, 具有抑制癌变、增强免疫力、减脂等生理功能<sup>[7]</sup>, 已被广泛应用于饲料等领域。将含有虾青素的鱼、虾、藻类、酵母菌等制成的饲料或直接用虾青素饲喂蛋鸡, 可获得具有虾青素功能的鸡蛋<sup>[8]</sup>。目前, 在与虾青素鸡蛋相关的研究中, 虾青素主要提取自雨生红球藻。例如, L. A. Walker 等<sup>[9]</sup>研究发现, 在饲料中添加雨生红球藻源虾青素, 不会显著影响鸡蛋的脂质组成。N. Heng 等<sup>[10]</sup>研究发现, 增加日粮中雨生红球藻源虾青素的添加量, 能有效减缓贮藏期间蛋黄指数下降及蛋黄颜色变淡, 但不会

收稿日期: 2024-05-27; 修回日期: 2024-08-01; 出版日期: 2025-02-15

基金项目: 北京现代农业产业体系家禽创新团队资助项目 (BAIC06-2023)

作者简介: 张馨月 (1999—), 女, 湖北省十堰市人, 北京农学院硕士研究生, 主要研究方向为天然产物提取及功能食品。

E-mail: fmyzc12301@163.com

通信作者: 马挺军 (1973—), 男, 山西省忻州市人, 北京农学院教授, 主要研究方向为天然产物提取及功能食品。E-mail:

mtingjun@163.com

显著影响蛋黄 pH 值、哈夫单位及蛋壳强度。然而,关于红发夫酵母源虾青素鸡蛋的研究仍较少,例如, Y. Akiba 等<sup>[11]</sup>仅对该类鸡蛋的蛋黄颜色和虾青素含量进行了初步研究。与雨生红球藻相比,红发夫酵母便于培养,从中获得虾青素的周期更短<sup>[12]</sup>,另外,通过选育高产菌种、优化廉价培养基等可进一步提高虾青素产量并降低成本,商业化价值较高<sup>[13]</sup>。

基于此,本文拟以红发夫酵母源虾青素鸡蛋为研究对象,对其营养物质、抗氧化能力、感官风味等进行研究,并与市售鸡蛋进行对比,以评估其品质和价值,为红发夫酵母源虾青素的应用及相关功能型鸡蛋的产业化提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 主要材料

将 60 只健康、体重相近的海兰白蛋鸡(40 周龄,由吉林省瑾钰生物科技有限公司提供)随机分成 2 组,每组 30 只。对照组饲喂基础日粮,该基础日粮由 70.0%(如无特指,百分数均指质量分数)玉米、12.0%豆粕、8.4%棉粕、7.6%石粉和 2.0%预混料组成,营养水平如下:代谢能 11.54 MJ/kg、粗蛋白含量 14.70%、钙含量 3.25%、有效磷含量 0.48%、赖氨酸含量 0.63%、蛋氨酸含量 0.28%。实验组在基础日粮的基础上添加 4%~5%的虾青素(提取自红发夫酵母)。虾青素鸡蛋(XQ),为实验组蛋鸡所产鸡蛋;对照组鸡蛋(CK),为同一批次对照组蛋鸡所产鸡蛋。品牌鸡蛋(DQ),谷饲海兰褐蛋鸡所产鸡蛋;柴鸡蛋(CJ),林间散养北京油鸡所产鸡蛋,均购自市场。

### 1.2 主要试剂

虾青素标准品(色谱级),上海阿拉丁科技股份有限公司;胰脂肪酶(生物试剂),上海源叶生物科技有限公司;Tris-HCl 缓冲液(生物试剂),飞净生物科技有限公司;ABTS、DPPH,均为色谱级,上海麦克林生化科技有限公司;四氢呋喃、甲醇、乙酸乙酯、甲基叔丁基醚、 $K_2S_2O_8$ 、乙醇、二甲基亚砜(DMSO)、4-硝基苯丁酸酯(PNPB),均为分析纯,上海罗恩试剂有限公司。

### 1.3 主要仪器与设备

BSA224 S 型电子分析天平,赛多利斯科学仪器(北京)有限公司;HH-S 型数显恒温水浴锅,常州翔天实验仪器厂;LC-2030C 3 D Plus 型高效液相色谱仪,日本岛津公司;XW-80A 型旋涡混合器,海门市其林贝尔仪器制造有限公司;Centrifuge 5810 R 型高速冷冻离心机,德国 Eppendorf 公司;TU-1810 型紫外-可见分光光度计,北京普析通用仪器有限责任公司;WS-01 型恒温恒湿培养箱,湖北黄石恒丰医疗器械有限公司;cNose System 型电子鼻分析系统,上海保圣实业发展有限公司;SpectraMax Mini 型多功能酶标仪,美谷分子仪器(上海)有限公司。

### 1.4 实验方法

**1.4.1 虾青素含量测定** 参照 D. M. Dansou 等<sup>[14]</sup>的方法,并作适当修改。取 1.00 g 混匀后的鸡蛋液样品于离心管中,加入 5 mL 四氢呋喃/甲醇( $V$ (四氢呋喃): $V$ (甲醇)=1:1),涡旋 2 min;将离心管置于 60 °C 水浴锅中保温 20 min,加入 5 mL 乙酸乙酯后,涡旋 2 min;在 4 °C、4000 r/min 条件下离心 5 min,取上清液,经 0.22  $\mu$ m 微孔过滤膜过滤后,置于棕色小瓶中,待测。液相色谱条件如下:ZORBAX Eclipse XDB-C18 色谱柱(4.6 mm  $\times$  250 mm  $\times$  5  $\mu$ m);柱温为 25 °C;流动相为甲醇/叔丁基甲基醚/超纯水( $V$ (甲醇): $V$ (叔丁基甲基醚): $V$ (超纯水)=78:14:8);流速为 1.0 mL/min;进样量为 20  $\mu$ L;检测波长为 481 nm。

**1.4.2 营养物质测定** 参照《食品安全国家标准 食品中水分的测定》(GB 5009.3—2016)<sup>[15]</sup>中的直接干燥法测定水分含量;参照《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》(GB 5009.5—2016)<sup>[16]</sup>中的凯氏定氮法测定蛋白质含量;参照《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》(GB 5009.6—2016)<sup>[17]</sup>中的索氏提取法测定脂肪含量。

**1.4.3 DPPH 自由基清除率测定** 取 0.5 g 混匀后的鸡蛋液样品,用去离子水定容于 100 mL 容量瓶中,配成质量浓度为 5 g/L 的蛋液;将该蛋液与 0.2 mmol/L 的 DPPH-乙醇溶液等体积混合后,避光静置 30 min,测其在 517 nm 处的吸光度,记为  $A_1$ ;以 2 mL 乙醇代替样品作为对照组,测其在 517 nm 处的

吸光度,记为 $A_0$ ;将2 mL样品与2 mL乙醇混合作为空白组,测其在517 nm处的吸光度,记为 $A_2$ 。

$$\text{DPPH 自由基清除率} = \frac{[A_0 - (A_1 - A_2)] \times 100}{A_0} \times 100\%$$

**1.4.4 ABTS<sup>+</sup>自由基清除率测定** 取0.194 2 g ABTS和0.031 2 g  $K_2S_2O_8$ ,用去离子水溶解并定容至50 mL容量瓶中,制得ABTS<sup>+</sup>工作液,避光存放12~16 h,使用前需稀释至吸光度为0.70左右;取1.00 g混匀后的鸡蛋液样品,按照 $m$ (鸡蛋液样品): $m$ (去离子水)=1:9加入去离子水并搅拌均匀,制成样品稀释液;取100  $\mu$ L样品稀释液于离心管中,加入3.9 mL ABTS<sup>+</sup>稀释工作液后,于黑暗中孵育18 min,在734 nm处测其吸光度,记为 $B_1$ ;以2 mL去离子水代替样品作为对照组,在734 nm处测其吸光度,记为 $B_0$ ;将2 mL样品与2 mL去离子水混合作为空白组,在734 nm处测其吸光度,记为 $B_2$ 。

$$\text{ABTS}^+ \text{ 自由基清除率} = \frac{[B_0 - (B_1 - B_2)] \times 100}{B_0} \times 100\%$$

**1.4.5 胰脂肪酶抑制率测定** 参照王雪等<sup>[18]</sup>的方法,取100  $\mu$ L胰脂肪酶溶液于1.5 mL离心管中,加入20  $\mu$ L混匀后的鸡蛋液样品,用Tris-HCL缓冲液定容至1 mL,充分摇匀;反应体系中,以不加胰脂肪酶溶液作为空白组,以不加入鸡蛋液样品作为正常组;分别点入96孔酶标板中,每组设4个复孔,于37  $^{\circ}$ C条件下孵育15 min,立即加入20  $\mu$ L PNPB溶液终止反应,用多功能酶标仪进行检测。检测波长为400 nm,每3 min测定1个点,测定15 min,并计算吸光度随时间的变化率( $K$ ),根据下式计算胰脂肪酶抑制率。

$$\text{抑制率} = (K_{\text{正常组}} - K_{\text{实验组}}) / K_{\text{正常组}} \times 100\%$$

**1.4.6 蛋黄色泽测定** 将鸡蛋的蛋黄与蛋清分离,去膜后统一放于白色审评杯中,置于普通摄像头正下方拍照,利用Adobe Color CC图像处理技术提取图片的色泽参数(明亮度( $L^*$ )、红绿值( $a^*$ )和黄蓝值( $b^*$ ))。

**1.4.7 电子鼻测定** 参照韩美仪等<sup>[19]</sup>的方法,并

作适当修改。将鸡蛋煮熟后,置于研钵中研磨均匀,取6.0 g研磨后的样品于电子鼻样品瓶中,用食品级保鲜膜密封1 h后,进行电子鼻手动顶空取样检测,每个样品均测定3次。电子鼻传感器性能描述见表1。

**1.4.8 感官评价** 参照李涛<sup>[20]</sup>的方法,并作适当修改。鸡蛋的感官评价标准见表2。

## 1.5 数据处理

使用Graphpad Prism 9软件对实验数据进行统计学分析,数据以(平均值 $\pm$ 标准差)表示。多组间比较采用one-way ANOVA进行分析, $P < 0.05$ 表示差异显著。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同鸡蛋样品的营养物质分析

不同鸡蛋样品的营养物质含量见表3。由表3

表1 电子鼻传感器性能描述

Table 1 Performance description of electronic

nose sensor		
传感器	响应物质	性能描述
S1	硫化氢、硫化物等	对硫化物敏感
S2	芳香烃类、脂肪烃类、脂环烃类、卤化烃类、醚类、酯类、二醇衍生物、乙腈、吡啶、苯酚等	对酒精、部分有机溶剂等敏感
S3	醇类、酮类、醛类、芳香族化合物等	对醇类、醛类、酮类、短链烷烃类物质敏感
S4	甲烷、沼气、天然气等	对短链烷烃类物质敏感
S5	可燃性气体等	对可燃性气体等敏感
S6	液化气、天然气、煤气、丙烷、丙烯、丁烷、丁烯等	对烷烃、烯烃、芳烃等物质敏感

表2 鸡蛋的感官评价标准

Table 2 Egg sensory evaluation criteria

项目	评价标准	分值/分
颜色 (25分)	蛋黄颜色呈绿色,令人不快	0~8
	蛋黄颜色适中,偏向淡黄色	9~17
	蛋黄颜色饱满,偏向橘红色,令人有食欲	18~25
香气 (25分)	蛋腥味、鱼腥味较重	0~8
	蛋腥味、鱼腥味较轻	9~17
	有奶油、鸡蛋香味	18~25
风味 (25分)	有苦味或硫磺味,风味较差	0~8
	有蛋香味,风味一般	9~17
	具有甜味,蛋香味醇厚,风味较好	18~25
口感 (25分)	口感粗糙,咀嚼时过硬或过软	0~8
	口感适中,咀嚼时偏硬或偏软	9~17
	口感湿润、绵密,咀嚼时软硬适中	18~25

可知,XQ的虾青素含量高达( $58.34 \pm 0.49$ )  $\mu\text{g/g}$ ,而其他鸡蛋中均未检测到虾青素;水分含量显著低于CK( $P < 0.05$ ),但与DQ、CJ相比差异不明显;脂肪含量显著低于其他鸡蛋( $P < 0.05$ ),与CK相比下降了约11.34%;蛋白质含量显著高于其他鸡蛋( $P < 0.05$ ),且较CK提升约12.74%。这与李利红等<sup>[21]</sup>的研究结果相一致,即虾青素可提高鸡蛋中蛋白质含量、降低脂肪含量。XQ中脂肪含量的降低主要是因为虾青素能影响脂肪酶活性,通过下调脂肪生成相关基因和上调脂质氧化相关基因来调节AMPK/SREBP1c(腺苷酸活化蛋白激酶/固醇调节元件结合蛋白1c)通路的基因表达,进而减少脂质和胆固醇的合成<sup>[22]</sup>。XQ中蛋白质含量的升高则主要与虾青素的抗氧化活性有关。蛋清蛋白的合成通常发生在输卵管中,氧化应激会抑制输卵管中管状腺细胞和上皮细胞生长,从而减少蛋白质合成。因此,虾青素可通过调节机体抗氧化功能上调输卵管分泌蛋白质的能力,进而增加鸡蛋中蛋白质的含量<sup>[23]</sup>。内源性抗氧化酶对减轻氧化应激反应至关重要,虾青素也可通过提高内源性抗氧化酶(SOD、CAT)的活性来阻止蛋白质因过氧化反应而发生降解,从而保持较高的蛋白质含量<sup>[24]</sup>。此外,有研究<sup>[25]</sup>指出,良好的肠道微生物种群和肠道形态有利于蛋鸡对营养物质的吸收与利用,而虾青素可调节蛋鸡的肠道菌群,进而促进蛋白质的吸收与合成。

## 2.2 不同鸡蛋样品的抗氧化能力分析

DPPH、ABTS<sup>+</sup>自由基清除率是抗氧化活性的一种反映,清除率越高,表明抗氧化能力越强。不同鸡蛋样品的抗氧化能力如图1所示,其中不同小写字母表示组间差异显著( $P < 0.05$ ),下同。

表3 不同鸡蛋样品的营养物质含量

Table 3 Nutrient substance content of different egg samples

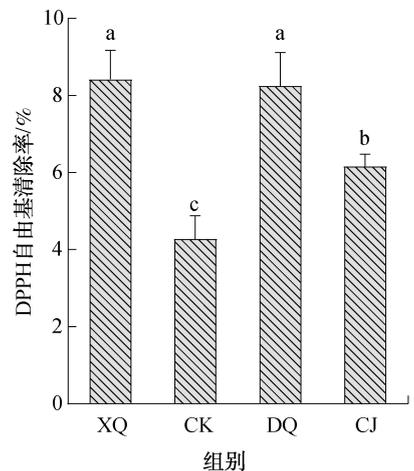
组别	虾青素含量/ ( $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ )	水分含量/ ( $\text{g} \cdot (100 \text{g})^{-1}$ )	蛋白质含量/ ( $\text{g} \cdot (100 \text{g})^{-1}$ )	脂肪含量/ ( $\text{g} \cdot (100 \text{g})^{-1}$ )
XQ	$58.34 \pm 0.49$	$75.21 \pm 0.10^b$	$11.45 \pm 0.10^a$	$8.57 \pm 1.25^b$
CK	—	$77.42 \pm 0.34^a$	$10.16 \pm 0.09^c$	$9.67 \pm 1.16^a$
DQ	—	$74.65 \pm 1.06^b$	$10.95 \pm 0.09^b$	$11.34 \pm 0.38^a$
CJ	—	$75.39 \pm 0.89^b$	$9.88 \pm 0.17^c$	$9.51 \pm 1.06^a$

注:—表示含量过低未检测到或未检测到;同列不同小写字母表示组间差异显著( $P < 0.05$ ),下同。

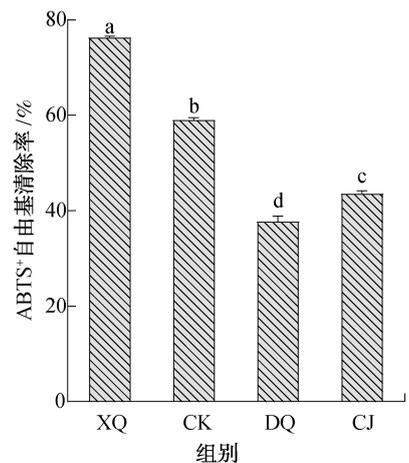
字母表示组间差异显著( $P < 0.05$ ),下同。由图1可知,XQ对DPPH自由基的清除率为8.43%,与DQ相近,而CK对DPPH自由基的清除率仅为4.28%,即在饲料中加入虾青素,能够让鸡蛋对DPPH自由基的清除率提高96.96%;XQ还具有较高的ABTS<sup>+</sup>自由基清除率,且较CK提高了29.19%。这可能是因为虾青素含有较长的共轭双键和 $\alpha$ -羟基酮,可通过活性电子效应向自由基提供电子或吸引非活性自由基电子,从而达到更好的自由基清除效果<sup>[26]</sup>。这与陈亚楠<sup>[27]</sup>的研究结果较一致。因此,红发夫酵母源虾青素的高抗氧化活性在经母鸡体内转入鸡蛋的过程中得到了较好保留,且与其他鸡蛋相比,XQ的抗氧化能力更突出。

## 2.3 不同鸡蛋样品的胰脂肪酶抑制率分析

胰脂肪酶会促进甘油三酯的水解,导致机体肥



a) DPPH自由基清除率



b) ABTS<sup>+</sup>自由基清除率

图1 不同鸡蛋样品的抗氧化能力

Fig. 1 The antioxidant capacity of different egg samples

胖,而抑制胰脂肪酶活性可延缓机体对脂肪酸的吸收,进而起到一定的减脂功效<sup>[28-29]</sup>。不同鸡蛋样品的胰脂肪酶抑制率如图2所示。由图2可知,XQ对胰脂肪酶的抑制率高达53.98%,仅次于DQ,而CK对胰脂肪酶的抑制率为46.57%,二者差异显著( $P < 0.05$ ),这可能与XQ内虾青素的累积有关。有研究<sup>[30]</sup>评估了不同来源虾青素对胰脂肪酶的影响,发现红发夫酵母源虾青素对胰脂肪酶的抑制效果最好。奥利司他作为一种治疗肥胖的药物,对胰脂肪酶的抑制效果显著,但长期服用会引起胃肠道损伤、肝损伤等不良反应<sup>[31]</sup>。虾青素作为一种天然的胰脂肪酶抑制剂,能够兼顾减脂和安全性,将其转化到鸡蛋中,有望通过日常饮食实现健康减脂的目标。

## 2.4 不同鸡蛋样品的蛋黄色泽分析

蛋黄色泽是影响感官评价的重要指标,通常橘红色蛋黄较淡黄色蛋黄更受消费者青睐<sup>[32]</sup>。不同鸡蛋样品的蛋黄图像及色泽参数分别如图3和表4所示。由图3和表4可知,不同品种鸡蛋的蛋黄色泽具有较大差异。其中,XQ的 $a^*$ 最高, $b^*$ 最低,与其他鸡蛋相比差异显著( $P < 0.05$ ),且具有鲜艳的橘红色色泽。这可能是因为虾青素属于类胡萝卜素,被蛋鸡吸收后可在消化道内与脂蛋白载体结合,从而累积到鸡蛋的蛋黄中并加深其色泽<sup>[33]</sup>。

## 2.5 不同鸡蛋样品的电子鼻检测结果分析

电子鼻对风味物质敏感,可区分不同品种鸡蛋

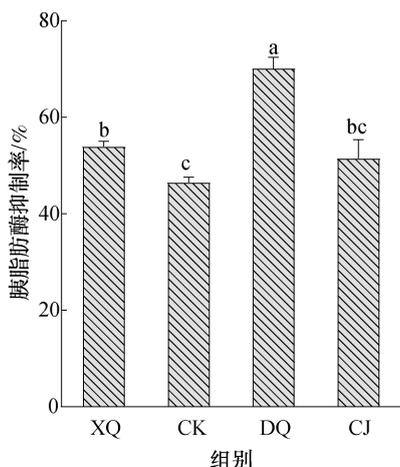


图2 不同鸡蛋样品的胰脂肪酶抑制率  
Fig. 2 Inhibition rate of pancreatic lipase in different egg samples

蛋白的风味,且辨别率达到87.5%<sup>[34]</sup>。不同鸡蛋样品的主成分分析图如图4所示。由图4可知,主成分分析的信息主要集中在前2个主成分,第一主成分的分差贡献率为61.41%,第二主成分的分差贡献率为26.20%,累计贡献率为87.61%,符合主成分分析的要求。XQ和CK与其他鸡蛋均无重叠区域,表明二者在风味上具有可区分性;DQ和CJ的重叠部分较多,表明二者风味相似。

不同鸡蛋样品的电子鼻传感器雷达图如图5所示。由图5可知,DQ和CJ具有相似的变化趋势和形状,但DQ对短链烷烃类物质的响应值更强烈,CJ则对烷烃、烯烃、芳烃等物质更敏感。XQ和DQ的重叠部分也较多,但XQ中的醇类、醛类、酮类、苯类和短链烷烃类风味物质更浓郁。CK对风味物质的响应程度与其他鸡蛋具有较大差别,其对酒精、部分有机溶剂、醇类、醛类、酮类、苯类及可燃性气体的响应程度超出其他鸡蛋,但对硫化物、短链烷烃

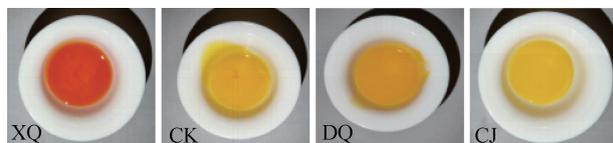


图3 不同鸡蛋样品的蛋黄图像

Fig. 3 Egg yolk images of different egg samples

表4 不同蛋黄样品的色泽参数

Table 4 Color parameters of different egg yolk samples

组别	$L^*$	$a^*$	$b^*$
XQ	49.33±1.16 <sup>d</sup>	60.67±1.16 <sup>a</sup>	59.67±0.58 <sup>d</sup>
CK	74.00±0.00 <sup>b</sup>	9.67±0.58 <sup>c</sup>	77.00±0.00 <sup>b</sup>
DQ	66.00±1.00 <sup>c</sup>	16.00±1.00 <sup>b</sup>	70.33±0.58 <sup>c</sup>
CJ	78.00±1.00 <sup>a</sup>	2.00±0.00 <sup>d</sup>	80.00±1.00 <sup>a</sup>

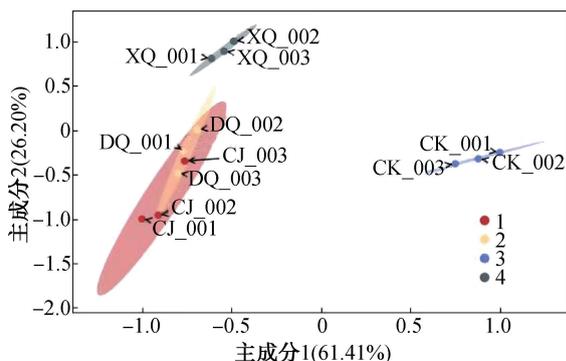


图4 不同鸡蛋样品的主成分分析图  
Fig. 4 Principal component analysis of different egg samples

类物质的响应则不及 XQ 强烈。

## 2.6 不同鸡蛋样品的感官评价结果分析

不同鸡蛋样品的感官评价结果见表 5。由表 5 可知, XQ 的蛋黄颜色最饱满, 具有典型的蛋香味, 鱼腥味较轻, 口感甜绵细腻, 无明显的苦味和噎感, 综合感官评分(84.25 分)最高, 与电子鼻的分析结果相对应。结合电子鼻测定结果可知, XQ 对硫化物的响应最强烈, 而蛋黄熟化后产生的独特香气主要来源于呋喃类和硫化物<sup>[35]</sup>, 故 XQ 在香气和风味上均具有较高的评分。此外, 虾青素具有高抗氧化活性, 能够延缓鸡蛋脂质过氧化, 减少不良风味物质产生, 还可改变鸡蛋中氨基酸、不饱和脂肪酸比例, 进而提升鸡蛋的风味<sup>[36]</sup>, 这可能也是 XQ 的感官评分较 CK 有所提升的原因。DQ 的感官评分仅次于 XQ, 主要在颜色和香气上与 XQ 差距较大。而 CK 和 CJ 的感官评分均较低, 蛋黄颜色呈淡黄色, 与 XQ 和 DQ 均存在一定差距。

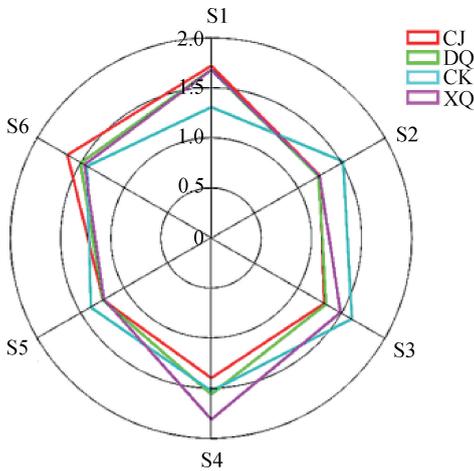


图 5 不同鸡蛋样品的电子鼻传感器雷达图

Fig. 5 Radar images of electronic nose sensors for different egg samples

表 5 不同鸡蛋样品的感官评价结果

Table 5 Sensory evaluation results of different egg samples

组别	颜色	香气	风味	口感	综合感官评分
XQ	22.00	20.50	20.00	21.75	84.25
CK	16.88	19.13	18.50	20.00	74.50
DQ	18.50	18.75	18.88	20.38	76.50
CJ	15.00	18.63	20.25	20.38	74.25

## 3 结论

本文将红发夫酵母源虾青素鸡蛋的营养物质、抗氧化能力、感官风味等与市售鸡蛋进行对比, 综合研究虾青素鸡蛋的品质, 得到如下结论: 虾青素鸡蛋中虾青素的含量达(58.34±0.49) μg/g, 蛋白质含量显著高于其他鸡蛋, 脂肪含量显著低于其他鸡蛋, 更符合消费者对高蛋白、低脂肪饮食结构的追求; 与对照组鸡蛋相比, 虾青素鸡蛋对 DPPH、ABTS<sup>+</sup> 自由基的清除率及对胰脂肪酶的抑制率均更高, 具有较好的体外抗氧化能力和安全减脂效果; 虾青素鸡蛋的蛋黄为橘红色, 蛋香浓郁, 口感甜绵细腻, 综合感官评分最高。因此, 红发夫酵母源虾青素鸡蛋在营养、功能活性、感官风味等方面均优于对照组鸡蛋并接近品牌鸡蛋, 能满足消费者对营养、健康功能型鸡蛋的追求。后续可进一步结合细胞实验和动物实验对虾青素鸡蛋的抗氧化活性及减脂效果进行深入研究, 以推动虾青素鸡蛋的产业化和市场化发展。

## 参考文献:

- [1] 官丽辉, 高志花, 唐春梅. 通过营养调控生产功能性鸡蛋[J]. 饲料工业, 2010, 31(9): 13-15.
- [2] 徐桂云. 鸡蛋品质及营养价值的新认识[J]. 中国家禽, 2012, 34(13): 36-38.
- [3] 王念念. 日粮添加亚麻籽粕对鸡蛋营养成分及其品质的影响[D]. 石河子: 石河子大学, 2023.
- [4] GU L P, YANG Y, MCCLEMENTS D J, et al. Preparation and characterization of folate-enriched eggs and egg yolk powders[J]. Journal of Agriculture and Food Research, 2022, 8: 100309.
- [5] LI R L, LIU J W, LIU M X, et al. Effects of selenium-enriched yeast dietary supplementation on egg quality, gut morphology and caecal microflora of laying hens [J]. Animal Biotechnology, 2024, 35(1): 2258188.
- [6] STUPIN A, MIHALJ M, KOLOBARIĆ N, et al. Anti-inflammatory potential of n-3 polyunsaturated fatty acids enriched hen eggs consumption in improving microvascular endothelial function of healthy individuals-clinical trial [J]. International Journal of Molecular Sciences, 2020, 21(11): 4149.
- [7] 侯庆明, 张妍, 黄倩倩, 等. 虾青素在畜牧养殖中的应用研究进展[J]. 中国畜禽种业, 2024, 20(2): 110-114.

- [8] 李建. 科学解读功能鸡蛋是否更健康[J]. 中国食品, 2024(3):124-125.
- [9] WALKER L A, WANG T, XIN H W, et al. Supplementation of laying-hen feed with palm tocos and algae astaxanthin for egg yolk nutrient enrichment[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2012, 60(8): 1989-1999.
- [10] HENG N, GAO S, GUO Y, et al. Effects of supplementing natural astaxanthin from *Haematococcus Pluvialis* to laying hens on egg quality during storage at 4 °C and 25 °C [J]. Poultry Science, 2020, 99(12):6877-6883.
- [11] AKIBA Y, SATO K, TAKAHASHI K, et al. Pigmentation of egg yolk with yeast *Phaffia rhodozyma* containing high concentration of astaxanthin in laying hens fed on a low-carotenoid diet [J]. Japanese Poultry Science, 2000, 37(2):77-85.
- [12] NUTAKOR C, KANWUGU O N, KOVALEVA E G, et al. Enhancing astaxanthin yield in *Phaffia rhodozyma*: Current trends and potential of phytohormones [J]. Applied Microbiology and Biotechnology, 2022, 106(9/10):3531-3538.
- [13] KHOO K S, LEE S Y, OOI C W, et al. Recent advances in biorefinery of astaxanthin from *Haematococcus Pluvialis* [J]. Bioresource Technology, 2019, 288:121606.
- [14] DANSOU D M, WANG H, NUGROHO R D, et al. Assessment of response to moderate and high dose supplementation of astaxanthin in laying hens [J]. Animals, 2021, 11(4):1138.
- [15] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品中水分的测定:GB 5009.3—2016 [S]. 北京:中国标准出版社, 2017.
- [16] 国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定:GB 5009.5—2016[S]. 北京:中国标准出版社, 2017.
- [17] 国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中脂肪的测定:GB 5009.6—2016[S]. 北京:中国标准出版社, 2017.
- [18] 王雪, 南敏伦, 白雪, 等. 刺囊酸衍生物的合成及其对脂肪酶的抑制作用[J]. 中国实验方剂学杂志, 2019, 25(20):125-130.
- [19] 韩美仪, 杜涓, 张一舟, 等. 不同烹饪方法对鸡蛋滋味和挥发性物质的影响[J]. 食品工业, 2021, 42(4):456-459.
- [20] 李涛. 绿茶粉对淮南麻黄鸡蛋品质和加工特性的影响研究[D]. 合肥:安徽农业大学, 2019.
- [21] 李利红, 白建. 日粮添加虾青素对蛋鸡蛋品质的影响[J]. 饲料研究, 2020, 43(11):50-53.
- [22] WANG M, MA H T, GUAN S Y, et al. Astaxanthin from *Haematococcus pluvialis* alleviates obesity by modulating lipid metabolism and gut microbiota in mice fed a high-fat diet [J]. Food & Function, 2021, 12(20):9719-9738.
- [23] SWIATKIEWICZ S, KORELESKI J. The effect of zinc and manganese source in the diet for laying hens on eggshell and bones quality [J]. Veterinárni Medicína, 2008, 53(10):555-563.
- [24] OBIANWUNA U E, OLEFORUH-OKOLEH V U, WANG J, et al. Natural products of plants and animal origin improve albumen quality of chicken eggs [J]. Frontiers in Nutrition, 2022, 9:875270.
- [25] SHI H Y, DENG X J, JI X Y, et al. Sources, dynamics *in vivo*, and application of astaxanthin and lutein in laying hens: A review [J]. Animal Nutrition, 2023, 13:324-333.
- [26] 张钰婕, 于晨旭, 张沛敏, 等. 虾青素脂质体的制备及其应用研究[J]. 广东化工, 2023, 50(19):45-47.
- [27] 陈亚楠. 虾青素鸡蛋蛋白质和贮藏性能研究[D]. 天津:天津科技大学, 2022.
- [28] HE X, CHEN L Y, PU Y J, et al. Fruit and vegetable polyphenols as natural bioactive inhibitors of pancreatic lipase and cholesterol esterase: Inhibition mechanisms, polyphenol influences, application challenges [J]. Food Bioscience, 2023, 55:103054.
- [29] ZUPANČIČ O, KUSHWAH V, PAUDEL A. Pancreatic lipase digestion: The forgotten barrier in oral administration of lipid-based delivery systems? [J]. Journal of Controlled Release, 2023, 362:381-395.
- [30] DU X P, BAI M L, HUANG Y, et al. Inhibitory effect of astaxanthin on pancreatic lipase with inhibition kinetics integrating molecular docking simulation [J]. Journal of Functional Foods, 2018, 48:551-557.
- [31] CHEUNG B M Y, CHEUNG T T, SAMARANAYAKE N R. Safety of antiobesity drugs [J]. Therapeutic Advances in Drug Safety, 2013, 4(4):171-181.
- [32] 张苏哈, 孟林, 郭玉霞, 等. 林下菊苣草地放养对北京油鸡屠体性能、蛋肉品质、脂质代谢和免疫性能的影响[J]. 中国畜牧兽医, 2024, 51(1):114-124.
- [33] 邓雪娟, 季小禹, 刘宁, 等. 虾青素在蛋鸡生产中的应用研究进展[J]. 中国畜牧杂志, 2023, 59(5):30-33.
- [34] DONG X G, GAO L B, ZHANG H J, et al. Comparison of sensory qualities in eggs from three breeds based on electronic sensory evaluations [J]. Foods, 2021, 10(9):1984.
- [35] 冯月超, 刘美玉, 任发政. 热处理对鸡蛋黄挥发性风味成分的影响[J]. 肉类研究, 2006(10):31-33.
- [36] 陈长增, 霍金金, 褚耀诚, 等. 枸杞提取物对蛋鸡生产性能和鸡蛋品质及鸡蛋营养成分的影响[J]. 北京农学院学报, 2021, 36(3):34-40.

## Study on the nutritional activity and flavor of astaxanthin eggs

ZHANG Xinyue<sup>1</sup>, YAN Qiannan<sup>1</sup>, YANG Zehao<sup>2</sup>, YU Miao<sup>2</sup>, MA Tingjun<sup>1</sup>

1. Food Science and Engineering College, Beijing University of Agriculture, Beijing 102206, China;

2. Jilin Wanfang Wotu Agricultural Science and Technology Development Co., Ltd., Baishan 134300, China

**Abstract:** Using *Phaffia rhodozyma*-derived astaxanthin eggs as the research object, the overall quality of the astaxanthin eggs was evaluated by comparing them with commercially available eggs in terms of nutrient substance, antioxidant capacity, sensory flavor, and other aspects. The results showed that the astaxanthin content in astaxanthin eggs reached  $(58.34 \pm 0.49) \mu\text{g/g}$ . Compared with control group eggs, the protein content increased by 12.74%, the fat content decreased by 11.34%, and the scavenging rates of DPPH and ABTS<sup>+</sup> free radicals increased by 96.96% and 29.19%, respectively. The inhibition rate of pancreatic lipase was as high as 53.98%, indicating good antioxidant capacity and fat reduction effect; The yolk of astaxanthin eggs had a bright orange red color, with a strong response to flavors of sulfides, alcohols, aldehydes, ketones, benzenes, and short chain alkanes. The taste was sweet, smooth, and delicate, with the highest comprehensive sensory score (84.25 points). The nutritional value, antioxidant capacity, sensory flavor, etc. of astaxanthin eggs were superior to control group eggs and native egg, close to a certain brand of eggs, and could better meet consumers' pursuit of nutritious and healthy functional eggs.

**Key words:** astaxanthin egg; nutrient substance; antioxidant activity; fat reduction; sensory flavor

[责任编辑:杨晓娟]

## 本刊数字网络传播声明

本刊已许可中国知网,万方数据资源系统,维普网,国家科技学术期刊开放平台,博视网,超星,中国科技论文在线,中教数据库,长江文库,CABI,CA,AJ.VINITI,EBSCOhost,Ulrichs,FSTA等在其系列数据库产品中以数字化方式复制、汇编、发行、信息网络传播本刊全文。其相关著作权使用费与本刊稿酬一并支付。作者向本刊提交文章发表的行为即视为同意我刊上述声明。