

不同透明度鸽蛋蛋白质构、微观结构及营养成分 差异分析

常玲玲, 卜柱*, 付胜勇, 王晴, 汤青萍, 穆春宇

(中国农业科学院家禽研究所, 扬州 225125)

摘要: **目的** 分析不同透明度鸽蛋蛋白质构、微观结构及营养成分间的差异, 旨在为研究鸽蛋蛋白透明形成的机制奠定基础。**方法** 新鲜非受精白羽王鸽蛋煮熟后, 选取透明和不透明鸽蛋各 30 枚, 比较其蛋白的质构、微观结构及主要营养成分之间的差异。**结果** 透明鸽蛋蛋白的硬度和咀嚼性显著低于不透明蛋($P<0.05$); 透明鸽蛋蛋白呈空间多孔的、疏松不规则的网状结构, 比不透明鸽蛋结构疏松, 网状空隙大; 不同透明度鸽蛋水分和蛋白浓度没有显著差异($P>0.05$), 透明鸽蛋蛋白中钙、镁含量显著低于不透明蛋($P<0.05$)。**结论** 透明鸽蛋蛋白呈多孔疏松的网状结构, 具有质地滑嫩、绵软且易咀嚼的优点, 适口性好; 矿物元素的含量和组成是影响鸽蛋透明度的主要因素之一。

关键词: 鸽蛋; 透明度; 质构; 微观结构; 营养成分

Variance analysis of texture, microstructure and nutrition composition between pigeon egg albumen with different transparencies

CHANG Ling-Ling, BU Zhu*, FU Sheng-Yong, WANG Qing, TANG Qing-Ping, MU Chun-Yu

(Poultry Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Yangzhou 225125, China)

ABSTRACT: Objective To analyze the differences of texture, microstructure and composition between pigeon egg albumen with different transparencies, so as to lay the foundation for the study of the formation mechanism of pigeon egg transparency. **Methods** Fresh and nonfertilized Transparent eggs ($n=30$) and opaque eggs ($n=30$) of white kingpigeon after cooking were chosen, and then the differences of texture, microstructure and nutrition composition were compared. **Results** The hardness and chewiness of transparent pigeon egg albumen were significantly lower than those of opaque pigeon egg albumen ($P<0.05$), and transparent pigeon egg albumen showed porous, loose, irregular and reticular structure, with more loose structure and bigger interspace than those of opaque egg albumen. There was no significant difference of moisture and protein concentration between pigeon eggs with different transparencies ($P>0.05$), but the calcium (Ca) and magnesium (Mg) contents of transparent pigeon egg albumen were significantly lower than those of opaque egg ($P<0.05$). **Conclusion** Transparent pigeon egg albumen shows porous and loose structure and good palatability, has the advantages of tender soft texture and easy to chew, and the content and composition of mineral elements are one of the main factors affecting the transparency of

基金项目: 国家自然科学基金青年科学基金项目(31501974)、江苏省自然科学基金青年科学基金项目(SBK2015040737)

Fund: Supported by the National Natural Science Foundation of China (31501974) and Natural Science Foundation of Jiangsu Province (SBK2015040737)

*通讯作者: 卜柱, 研究员, 主要研究方向为特禽育种与生产。E-mail: jsbuzhu@163.com

*Corresponding author: BU Zhu, Researcher, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Yangzhou 225125, China. E-mail: jsbuzhu@163.com

pigeon eggs.

KEY WORDS: pigeon egg; transparency; texture; microstructure; nutrition composition

1 引言

鸽蛋被誉为“动物人参”，因其含有丰富的蛋白质、卵磷脂、维生素和铁等营养元素，是高蛋白低脂肪的珍品^[1]；同时能增强人体的免疫和造血功能，对手术后的伤口愈合、产妇产后、恢复和调理及儿童的发育成长具有功效，是老少皆宜的药膳^[2]。随着人类生活水平的提高及消费结构的优化，鸽蛋不再只是宴席上的珍品，而渐渐走进大众的日常生活中^[3]。近10年来在我国的消费市场中，鸽蛋一直处于供不应求的状态，且价格一直居高不下。

与其他禽蛋不同，蛋白透明度不一是鸽蛋特有的表现特征。煮熟的鸽蛋蛋白，有些呈透明胶冻状，有些则为白色不透明固体状。而透明蛋晶莹剔透，温润亮泽，形似果冻，更受广大消费者的喜爱，市场前景更为广阔^[4]。目前，对鸽蛋透明度的研究未见相关报道，不同透明度鸽蛋结构上的差异以及形成的机制都还未知。本研究旨在分析不同透明度鸽蛋蛋白的质构、微观结构及主要营养成分之间的差异，为后续鸽蛋蛋白透明形成的机制研究奠定基础，同时也为鸽蛋的市场销售提供一个参考指标。

2 材料与方法

2.1 试验材料

选取若干新鲜非受精白羽王鸽鸽蛋，鸽蛋采集自江阴威特凯鸽业有限公司。

2.2 仪器与试剂

TC-P2A 色差计(北京光学仪器厂); TA. XT plus 质构仪(英国 Stable Micro Systems 公司); VFD-21S 冷冻干燥仪(日本 SHINKKU VD 公司); SC7620 离子溅射仪(英国 Quorum 公司); XL-30 ESEM 环境扫描电子显微镜(荷兰 Philips 公司); Foss 8400 全自动凯氏定氮仪(美国 Foss 公司); 4530F 原子吸收分光光度计(广东科晓分析仪器公司); ME204E 电子天平(瑞士 Mettler 公司)。

钙、铁、锌、钠、钾、镁、铜和锰的标准溶液均为光谱纯，购自美国 Sigma 公司。所用戊二醛、钨酸、乙醇、磷酸缓冲液、硫酸、氢氧化钠、无水硫酸钠、硫酸铜、硝酸、盐酸等试剂均为分析纯，购自国药集团化学试剂有限公司。配制试剂所用水为超纯水(美国 Millipore 超纯水仪制备)。

2.3 实验方法

2.3.1 透明度的测定

将鸽蛋沸水煮 30 min，捞出冷却剥壳。分离蛋白和蛋黄，取蛋白相同部位，剪切成相同厚度(1 cm)，放置于色差

计上，测定其明度值。根据明度值范围选取透明蛋(明度值 45)和不透明蛋(明度值 55)各 30 枚，具体测定方法见参考文献^[4]。

2.3.2 质构指标的测定

用刀片将蛋白切成 1 cm³ 的正方体待测。质构指标采用质构仪进行测定，运用 TPA 模式进行测定，探头为 P25.4 mm。测定指标为硬度、粘附性、弹性、胶粘性、咀嚼性和回复性^[5]。

2.3.3 微观结构观察

选择透明和不透明鸽蛋各 3 枚，蛋白切成 0.5 cm×0.5 cm×1 cm 的长方体，置于 4%戊二醛固定液固定 72 h，用磷酸缓冲液反复清洗样品，再用 2%的戊二醛溶液固定 2 h，清洗后用钨酸固定 1.5 h，再用磷酸缓冲液清洗 3 次，每次 10 min，用 70%、80%、90%和 95%的乙醇梯度脱水各 15 min，100%乙醇脱水 3 次，每次 30 min，用叔丁醇置换 3 次，每次 30 min，用冷冻干燥仪干燥样品，用双面胶带将样品粘到样品台上，离子溅射仪给样品镀金，然后进行环境扫描电子显微镜观察^[6]。

2.3.4 主要营养成分测定

水分的测定：参照 GB 5009.3-2010《食品安全国家标准 食品中水分的测定》^[7]。

蛋白质测定：称取 0.5 g 蛋白风干样，称量纸包好放入蛋白测定管中，加 4.2 g 混合催化剂(无水硫酸钠:硫酸铜=50:3, V:V)，10 mL 浓硫酸，420 °C 消化 4 h，取出冷却后放入全自动凯氏定氮仪测定^[8]。

矿物元素测定：采用原子吸收光谱仪火焰法测定蛋白中的钠、钾、钙、镁含量，前处理方法参照 GB 5413.21-2010《食品安全国家标准 婴幼儿食品和乳品中钙、铁、锌、钠、钾、镁、铜和锰的测定》^[9]。

2.4 统计分析

采用 Excel 和 SPSS 20.0 对数据进行整理和单因子方差分析(one-way ANOVA)处理数据，Duncan 氏法进行差异显著性检验，以 $P<0.05$ 作为差异显著的标准。

3 结果与分析

3.1 不同透明度鸽蛋质构参数的差异

不同透明度鸽蛋质构参数的差异分析见表 1，透明鸽蛋和不透明鸽蛋蛋白的硬度和咀嚼性均有显著差异($P<0.05$)，透明鸽蛋蛋白的硬度和咀嚼性比不透明鸽蛋低。透明鸽蛋和不透明鸽蛋蛋白的粘附性、弹性和回复性没有显著差异($P>0.05$)。

硬度是指样品达到一定变形时所必须的力，在感官

上是指用牙齿咬断样品所用的力^[10]。咀嚼性是指将固体食品咀嚼到可吞咽时需做的功, 而 TPA 试验正是模拟了牙齿的这种咀嚼的动作, 进而量化了咀嚼的感觉, 数值上等于硬度与凝聚性和弹性的乘积^[11]。Mohammad^[12]研究认为, 硬度和咀嚼性呈极显著正相关, 这与本研究得出的结论相似。本实验结果显示, 透明鸽蛋蛋白的硬度和咀嚼性都显著低于不透明蛋, 说明透明鸽蛋具有质地滑嫩、绵软、易咀嚼的优点, 适口性好, 更符合大众的口味。

表 1 不同透明度鸽蛋质构参数的差异分析($n=30$)
Table 1 Comparison of texture between pigeon eggs with different transparencies ($n=30$)

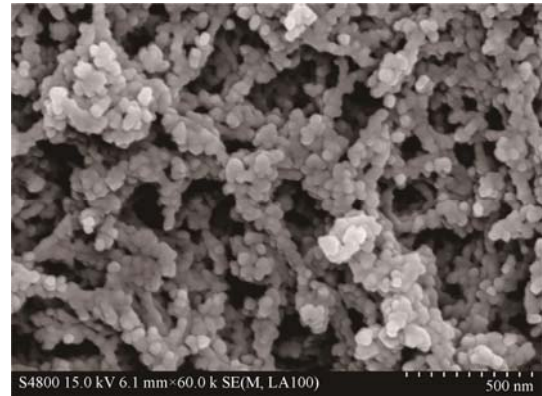
	透明	不透明
硬度(N)	1.634±0.420 ^a	2.028±0.469 ^b
粘附性(mJ)	0.063±0.005 ^a	0.058±0.009 ^a
弹性(mm)	3.152±0.232 ^a	3.184±0.420 ^a
内聚性	0.832±0.029 ^a	0.826±0.029 ^a
咀嚼性(mJ)	4.083±0.984 ^a	5.823±1.065 ^b
回复性	0.832±0.030 ^a	0.827±0.027 ^a

注: 同行数据字母相同表示差异不显著($P>0.05$), 字母不同表示差异显著($P<0.05$)。

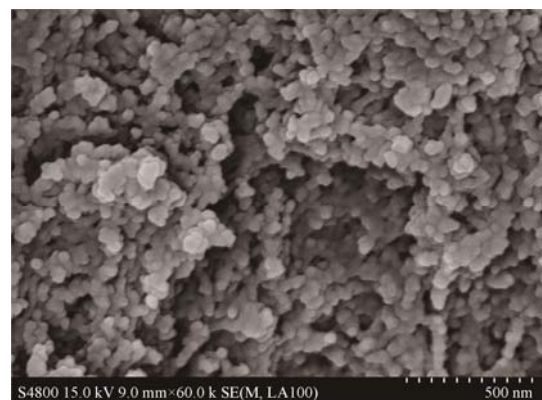
3.2 不同透明度鸽蛋微观结构的差异

通过扫描电子显微镜对不同透明度鸽蛋蛋白微观结构观察结果如图 1。由图 1 可知, 透明鸽蛋蛋白呈空间多孔的、疏松不规则的网状结构, 形成的胶束成“串珠状”。不透明鸽蛋结构结实紧密, 网状空隙小, 细胶束的聚集增加, 形成团状的凝胶块。

禽蛋蛋清中含有较高浓度的蛋白质, 是蛋白质分散在水中形成的溶胶体。在加热条件下, 这种溶胶体会转化成凝胶, 蛋白凝胶化是一个复杂的过程, 经过蛋白质分子链的伸展、分裂、结合及聚集的过程, 相邻的分子通过氢键、二硫键、疏水键、范德华力及静电等作用交联形成三维网状结构, 进而将水分和其他成分包络起来形成凝胶^[13]。本研究观察不同透明度鸽蛋蛋白凝胶结果表明, 透明鸽蛋蛋白呈空间多孔的、疏松不规则的网状结构, 不透明鸽蛋结构结实紧密, 网状空隙小, 形成团状的凝胶块。这一结果佐证了透明鸽蛋的硬度和咀嚼性相对较低; 同时, 我们推测多孔疏松的空间结构光的透射性强, 从而使鸽蛋看起来更透明。而造成透明鸽蛋空间结构疏松的因素很多, 除了水分含量、蛋白质的浓度和种类、矿物元素的含量及与蛋白质的结合形式外^[14], 加热过程中分子构象如三级结构中二硫键和疏水作用的改变及二级结构中 α -螺旋、 β -折叠、无规则卷曲含量的变化也有可能引起透明度的变化^[15], 同时, 加热的时间和温度等物理因素也有可能影响鸽蛋透明度的形成^[16]。



a. 透明蛋蛋白



b. 不透明蛋蛋白

图 1 不同透明度鸽蛋的微观结构观察

Fig. 1 Observation of microstructure of pigeon eggs with different transparencies

3.3 不同透明度鸽蛋主要营养成分的差异

不同透明度鸽蛋蛋白的水分和蛋白质含量见表 2, 相较于不透明鸽蛋, 透明鸽蛋蛋白的水分含量偏高, 蛋白含量偏低, 但未达到显著差异($P>0.05$)。不同透明度鸽蛋蛋白的矿物元素含量见表 3, 透明蛋蛋白的矿物元素含量偏低, 且 Ca、Mg 含量显著低于不透明蛋($P<0.05$)。

表 2 不同透明度鸽蛋蛋白水分和蛋白质含量的比较 ($n=30$)
Table 2 Comparison of water and protein composition between pigeon eggs with different transparencies ($n=30$)

	透明	不透明
水分(%)	88.89±0.49 ^a	87.87±1.20 ^a
蛋白浓度(%)	9.90±0.80 ^a	10.44±1.43 ^a

注: 同行数据字母相同表示差异不显著($P>0.05$), 字母不同表示差异显著($P<0.05$)。

表3 不同透明度鸽蛋蛋白的矿物元素比较 ($n=15$)
Table 3 Comparison of mineral element composition between pigeon eggs with different transparencies ($n=15$)

	透明	不透明
钠 Na(mg/g)	1.46±0.21 ^a	1.58±0.10 ^a
钾 K (mg/g)	1.39±0.18 ^a	1.45±0.13 ^a
钙 Ca(mg/g)	0.19±0.03 ^a	0.26±0.03 ^b
镁 Mg(mg/g)	0.10±0.02 ^a	0.13±0.01 ^b
铁 Fe (μg/g)	33.25±5.91 ^a	33.25±0.96 ^a
铜 Cu (μg/g)	0.82±0.29 ^a	0.84±0.21 ^a
锌 Zn (μg/g)	7.75±0.50 ^a	8.25±0.52 ^a

注: 同行数据字母相同表示差异不显著($P>0.05$), 字母不同表示差异显著($P<0.05$)。

本研究测定了与鸽蛋透明度形成有一定相关性的水分、蛋白浓度及矿物元素含量。结果显示, 不同透明度鸽蛋蛋白的水分和蛋白浓度没有显著差异。提示水分和蛋白浓度不是鸽蛋透明形成的主要原因。相关研究报道显示, 蛋白质二级结构影响凝胶透明的形成, 有序的 α -螺旋和 β -折叠结构的增加和自由卷曲结构的降低使形成的凝胶分子排列更规则, 光分子更容易透过使得凝胶显得更加透明^[14,17]。因此, 蛋白质结构对鸽蛋透明度的影响还有待进一步探讨。

本研究结果显示, 透明蛋蛋白的矿物元素含量偏低, 且Ca、Mg含量显著低于不透明蛋。矿物元素的含量和组成是影响鸽蛋透明度的主要因素之一。一价离子如 Na^+ 、 K^+ 主要是靠静电作用使蛋白质分子聚合结构比较致密, 而二价离子如 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 不但靠静电作用而且通过在带负电蛋白质分子之间形成离子桥, 使之形成的三维网络结构导致聚集的发生^[18]。Ca、Mg含量的增加, 使得鸽蛋蛋白在转化成凝胶时形成更多的离子桥, 使蛋白质分子更加聚集, 从而导致凝胶透光性低, 形成不透明的鸽蛋蛋白。即通过改变饲料矿物质组成, 适当降低二价离子在蛋中的沉积, 有可能改善鸽蛋的透明度。

4 结论

目前, 已有对鸽蛋品质测量的相关研究报道^[19,20], 但对煮熟的鸽蛋物质结构上的研究却未见报道。本研究运用质构仪对煮熟的鸽蛋蛋白进行质构测定, 可以在一定程度上减少感官评价中主观因素带来的评价误差, 以不同的数据形式展现出不同透明度鸽蛋质构上的差异, 使结果更具准确性^[21]。水分和蛋白质浓度不是鸽蛋透明形成的主要原因; 矿物元素的含量和组成是影响鸽蛋透明度的主要因素之一。通过改变饲料矿物质组成, 适当降低二价离子在蛋中的沉积, 有可能改善鸽蛋的透明度, 可为后续探索透明鸽蛋蛋白形成机理提供理论依据。

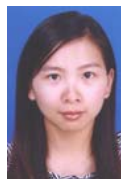
参考文献

- [1] 汤志兴, 卞益, 陈关明. 增加鸽产蛋量的技术研究[J]. 上海畜牧兽医通讯, 2015, (2): 52-55.
Tang ZX, Bian Y, Chen GM. Technology research to improve the pigeon egg production [J]. Shanghai J Anim Husb Vet Med, 2015, (2): 52-55.
- [2] 赵文静, 邹晓庭, 张敏, 等. γ -氨基丁酸对蛋鸽产蛋性能和血清生化指标的影响[J]. 饲料工业, 2010, 31(12): 24-26.
Zhao WJ, Zou XT, Zhang M, et al. The effect of γ -aminobutyric acid on laying performance and serum biochemical indices of laying pigeons [J]. Feed Ind, 2010, 31(12): 24-26.
- [3] 朱小芳. 蛋鸽生产的发展前景研究[J]. 浙江畜牧兽医, 2004, 2: 18-19.
Zhu XF. Future prospects research of laying pigeon production [J]. Zhejiang Anim Husb Vet Med, 2004, 2: 18-19.
- [4] 常玲玲, 谢鹏, 王晴, 等. 色差计评价鸽蛋蛋白透明度方法的建立[J]. 中国家禽, 2016, 38(5): 54-55.
Chang LL, Xie P, Wang Q, et al. Establishment of pigeon egg albumen transparency evaluation method by color meter [J]. Chin Poul, 2016, 38(5): 54-55.
- [5] 何莹, 马美湖. 鹌鹑蛋碱腌过程中品质变化规律的研究[J]. 中国家禽, 2015, 37(20): 37-42.
He Y, Ma MH. Property change of quail eggs during pickling [J]. Chin Poul, 2015, 37(20): 37-42.
- [6] 唐琳, 李春保, 胡玉香, 等. 工艺条件对猪皮提取物物质结构和微观结构影响的初步研究[J]. 农业工程学报, 2008, 24(12): 269-274.
Tang L, Li BC, Hu YX, et al. Effects of technology conditions on texture properties and microstructure of pork skin extracts [J]. Trans Chin Soc Agric Eng, 2008, 24(12): 269-274.
- [7] GB 5009.3-2010 食品安全国家标准 食品中水分的测定 [S].
GB 5009.3-2010 National food safety standard-Determination of moisture in foods [S].
- [8] 黄瑾, 章厉劼. BuchiK-370 全自动凯氏定氮仪与半微量蒸馏法测定饲料中粗蛋白的比较[J]. 饲料与畜牧, 2007, 7: 32-34.
Huang J, Zhang LJ. The comparison of feed crude protein determination between BuchiK-370 automatic azotometer and semi-micro distillation [J]. Feed Husb, 2007, 7: 32-34.
- [9] GB 5413.21-2010 食品安全国家标准 婴幼儿食品和乳品中钙、铁、锌、钠、钾、镁、铜和锰的测定[S].
GB 5413.21-2010 National food safety standard: determination of Ca, Fe, Zn, Na, K, Mg, Cu and Mn in infant food and milk products [S].
- [10] 孙彩玲, 田纪春, 张永祥. TPA 质构分析模式在食品研究中的应用[J]. 实验科学与技术, 2007, 5(2): 1-4.
Sun CL, Tian JC, Zhang YX. The application of TPA in food research [J]. Exp Sci Technol, 2007, 5(2): 1-4.
- [11] 李里特. 食品物性学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2010.
Li LT. Food physical properties [M]. Beijing: Chinese Agricultural Press, 2010.
- [12] Mohammad SR. Instrumental texture profile analysis (TPA) of date flesh as a function of moisture content [J]. Food Eng, 2005, 66(4): 505-511.
- [13] 芦鑫, 程永强, 李里特. 研究蛋白质凝聚凝胶的技术进展[J]. 中国粮油学报, 2010, 25(1): 132-137.
Lu X, Cheng YQ, Li LT. Technological progress of protein aggregation and gelation research [J]. J Chin Cereals Oils Ass, 2010, 25(1): 132-137.

- [14] 陈复生, 李里特, 辰已英三. 分子力对大豆蛋白透明凝胶作用机理研究[J]. 食品科学, 2001, 22(27): 27-32.
Chen FS, Li LT, Eizo T. Study on mechanisms of molecular forces to soybean protein transparent gels [J]. Food Sci, 2001, 22(27): 27-32.
- [15] 何轩辉, 刘红芝, 赵冠里. 超高压对食品蛋白凝胶性的影响研究进展[J]. 食品科学, 2013, 34(13): 334-337.
He XH, Liu HZ, Zhao GL. Effect of ultra-high pressure on gelation property of food protein [J]. Food Sci, 2013, 34(13): 334-337.
- [16] 陈复生, 李里特, 辰已英三. 大豆 7S 球蛋白凝胶光学性质的研究[J]. 中国粮油学报, 2001, 16(2): 41-46.
Chen FS, Li LT, Eizo T. Study on the optical properties of soybean 7S globulin [J]. J Chin Cereals Oils Ass, 2001, 16(2): 41-46.
- [17] Renkema JMS, Vliet VT. Heat-induced gel formation by soy proteins at neutral pH [J]. J Agric Food Chem, 2002, 50: 1569-1573.
- [18] 崔旭海, 孔保华. 环境条件对乳清蛋白凝胶特性和微观结构的影响[J]. 中国农业科学, 2008, 41(3): 800-807.
Cui XH, Kong BH. Influence of environmental conditions on whey protein gels properties and gels microstructure [J]. Sci Agr Sin, 2008, 41(3): 800-807.
- [19] 卜柱, 王强, 厉宝林, 等. 双母拼对笼养模式下鸽蛋营养及品质分析[J]. 中国家禽, 2010, 32(20): 59-61.
Bu Z, Wang Q, Li BL, *et al.* The analysis of pigeon egg nutrition and quality under double-female in cages [J]. Chin Poultry, 2010, 32 (20): 59-61.
- [20] 徐善金, 汪情, 陈卫彬, 等. 低聚木糖对白羽王鸽生产性能的影响研究[J]. 中国饲料, 2013, 11: 23-25.
Xu SJ, Wang Q, Chen WB, *et al.* The effect of xylooligosaccharides on production performance of laying pigeons [J]. Chin Feed, 2013, 11: 23-25.
- [21] 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 EY, Chen H, Tan XM, *et al.* Effect of different storage temperatures on egg quality and texture properties [J]. Acta Ecol Anim Domast, 2015, 36(5): 44-49.

(责任编辑: 姚 菲)

作者简介



常玲玲, 硕士, 助理研究员, 主要研究方向为特禽产品品质与安全。
E-mail: jqscell@163.com



卜 柱, 硕士, 研究员, 主要研究方向为特禽育种与生产。
E-mail: jsbuzhu@163.com