

不同日龄绍兴鸭蛋外观形状的研究

罗迪克¹, 李丹蕾¹, 周浩澜¹, 董江鹏¹, 黄涛¹, 刘长国^{1,2*}

(1. 浙江农林大学动物科技学院·动物医学院, 浙江杭州 311300;

2. 杭州萧山东海养殖有限责任公司, 浙江杭州 311200)

摘要: 为探究日龄对鸭蛋外观形状的影响, 试验从180、500、740日龄绍兴鸭群中分别随机选取80枚蛋, 研究3种日龄鸭蛋的外观形状特征。结果表明: 500日龄鸭蛋的蛋形指数、球形度极显著高于180日龄和740日龄, 而180日龄与740日龄间差异不显著; 外观平均直径、表面积、体积均随着日龄的增加而增加, 740日龄与500日龄之间差异不显著, 但均极显著高于180日龄; 3种日龄鸭蛋的蛋形指数与球形度之间极显著正相关, 而外观平均直径、表面积、体积之间极显著正相关; 壳膜重、钙化壳重、蛋壳厚度整齐性与外观形状相关关系的显著性因日龄而变化, 但蛋重与外观平均直径、表面积、体积呈极显著正相关, 而钙化壳厚、蛋壳破碎强度与5个外观形状指标无显著相关。总之, 5个鸭蛋外观形状指标在不同日龄间均存在显著差异; 除蛋重、钙化壳厚、蛋壳破碎强度外, 其他蛋壳品质指标与外观形状的相关性因日龄而变化。

关键词: 鸭蛋; 日龄; 外观形状; 蛋壳品质

中图分类号: S834.2

文献标识码: A

DOI 编号: 10.19556/j.0258-7033.20200210-01

蛋的形状变化多样, 不同鸟类的蛋形状各异, 同一

收稿日期: 2020-02-10; 修回日期: 2020-02-20

资助项目: 浙江省畜禽农业新品种选育重大科技专项(2016C02054-12); 2019年度杭州市钱江特聘专家项目(201929); 浙江省畜禽绿色生态健康养殖应用技术研究重点实验室资助(KLGEH012)

作者简介: 罗迪克(2000-), 男, 陕西汉中, 本科生, 动物科学专业, E-mail: 1242962331@qq.com

*通讯作者: 刘长国(1973-), 男, 江西南丰人, 博士, 教授, 从事家禽研究, E-mail: liuzg007@163.com

Gompertz模型得到公鸡拐点体重为800.903 g, 拐点周龄为8.564周, 母鸡拐点体重为583.856 g, 拐点周龄为7.991周。

参考文献:

- [1] 贵州有畜禽品种志和品种图谱编委会. 威宁鸡[J]. 贵州畜牧兽医科技, 1984(4): 59-62.
- [2] 汪峰, 潘如芳, 张家良, 等. 太湖鸡生长发育与曲线拟合情况分析[J]. 畜牧与兽医, 2008, 40(1): 57-60.
- [3] 谭玉文, 朱学农, 章逸, 等. 宁都黄公鸡3种生长曲线拟合的比较分析[J]. 中国畜牧杂志, 2019, 55(8): 59-61.
- [4] 王克文, 杨鹏, 赵洁. 京红系蛋鸡生长发育规律的曲线拟合分析[J]. 新疆农业科学, 2019, 56(5): 945-954.
- [5] 吴艳, 申杰, 皮劲松, 等. 双莲鸡生长发育与曲线拟合情况分析[J]. 湖北农业科学, 2016, 55(24): 6504-6506.
- [6] 孟信群, 李思, 喻林, 等. 赤水乌骨鸡生长曲线拟合研究[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2016(15): 227-229.
- [7] 张跟喜, 丁馥香, 张李俊, 等. 边鸡生长曲线拟合和比较分

群体中不同个体的蛋也存在差异, 因此准确描述蛋的外观形状具有较大挑战性。准确衡量禽蛋的外观指标可以有效促进蛋的形状研究^[1], 不仅对准确估测蛋壳的抗机械强度能力有重要意义^[2], 而且对于模拟估算蛋壳在承重过程中^[3]或者加热处理过程中^[4-5]形态的变化也有重要意义。蛋的体积和表面积是2个重要的外观指标, 不仅可用于种群形态学和生态形态学研究^[6], 还能用于估测研究蛋壳品质、蛋品质、蛋壳孔隙率、种蛋孵化率、

析的研究[J]. 中国畜牧兽医, 2009, 36(12): 175-177.

- [8] 吴春琴, 金俊杰, 宋显章, 等. 灵昆鸡早期生长规律对比试验观察[J]. 中国家禽, 2005, 27(19): 32.
- [9] 魏彩霞, 孙思宇, 吴春琴. 灵昆鸡蛋品质测定与相关性分析[J]. 家禽科学, 2010(8): 39-40.
- [10] 朱志明, 强巴央宗, 朱猛进, 等. 藏鸡生长曲线拟合和分析的比较研究[J]. 中国农业科学, 2006, 39(10): 2159-2162.
- [11] 曹爱青, 毛宗林, 胡骏鹏, 等. 不同能量水平对朗德鹅生长曲线的影响研究[J]. 饲料工业, 2007, 28(7): 34-37.
- [12] 姜自琴, 刘丽仙, 荣华, 等. 武定鸡生长曲线拟合研究[J]. 畜牧与兽医, 2015(3): 49-51.
- [13] 李俊营, 詹凯, 李绍全, 等. 淮南麻黄鸡生长曲线拟合及开产性状相关分析[J]. 畜牧与兽医, 2012, 44(8): 6-48.
- [14] 阳光远, 张小林, 李元佳, 等. 白宜黑鸡生长曲线拟合与分析比较研究[J]. 畜牧与兽医, 2012, 44(8): 37-39.
- [15] 李洪林, 李维, 饶永超, 等. 贵州黄鸡慢羽系生长曲线拟合研究[J]. 中国畜牧兽医, 2019, 46(7): 2053-2058.

(责任编辑: 赵楠)

出壳小雏的体重^[1]。

蛋形指数是用于衡量禽蛋形状的经典指标^[7]，许多学者对其他表征禽蛋外观形态的指标也进行了研究^[8]。其中，Mohsenin^[9]推导了禽蛋的外观平均直径（Geometric Mean Diameter, Dg ）概念及计算公式，Mohsenin^[9]以及Baryeh等^[10]先后推导并验证了禽蛋的表面积（Surface Area, S ）概念及计算公式；在此基础上，研究人员进一步演绎推导了禽蛋球形度（Degree of Sphericity, Φ ）以及禽蛋体积（Volume, V ）^[11]。

上述外观指标（除蛋形指数外）多用于食品加工力学研究，在畜牧领域关注较少。本研究旨在分析3种日龄鸭蛋的外观特征以及不同日龄鸭蛋外观特征与蛋壳品质的相关性。

1 材料与方法

1.1 鸭蛋采集 在浙江省绍兴市诸暨绍兴鸭原种场采集鸭蛋，所有母鸭均单笼饲养，饲料相同，自由采食，管理条件一致。在180、500、740日龄3个绍兴鸭种鸭群产蛋当天，随机采集无破损、形状和壳色正常的蛋各80枚，立即运回实验室。

1.2 测定指标及方法 用电子天平测量每枚蛋的重量；再用游标卡尺测量蛋的最长距离即为长径（ L ），测量蛋的最宽距离即为宽径（ W ）。将蛋小头朝下，大头朝上，竖直摆放，用蛋壳强度计测量蛋壳破碎强度，即为蛋壳强度。将蛋敲成两半，弃掉蛋清和蛋黄，用自来水轻柔地洗去残留的蛋清，然后参考Liu等^[12]的方法，将蛋壳放入乙二胺四乙酸盐（EDTA- Na_2 ）溶液中浸泡40 min，用刷子除净蛋壳外表面的角质层后，小心分离壳膜与钙化壳，40℃烘干，称量壳膜重和钙化壳重。

钙化壳厚度以及厚度整齐性：参考Sun等^[13]的方法，将每枚蛋壳沿着长轴，粗略地分成钝端顶部、钝端、赤道、锐端以及锐端顶部5等份；分别从每个部位均匀、分散地取6小片蛋壳样品，用数显千分尺测量每个样品的厚

度。30个样品厚度的均值为该枚蛋的钙化壳厚度，30个样品厚度的变异系数的倒数即为该枚蛋钙化壳的厚度整齐性。一般地，钙化壳厚度整齐性越高，则蛋壳厚度越均匀；反之则蛋壳不同位置的厚度参差不齐越严重。

在蛋的长径与宽径的测量基础上，按以下公式计算5个外观指标。

$$\text{蛋形指数}^{[7]} = (W/L) \times 100$$

$$\text{外观平均直径} (Dg)^{[9]} = (L \times W^2)^{1/3}$$

$$\text{表面积} (S)^{[9-10]} = \pi * Dg^2$$

$$\text{球形度} (\Phi)^{[11]} = (Dg/L) \times 100$$

$$\text{体积} (V)^{[11]} = (\pi/6) * L * W^2。$$

1.3 统计分析 利用Excel对数据进行初步整理，再用SPSS 19.0软件包对数据进行统计。用单因素方差分析（One-Way ANOVA）软件统计3组鸭蛋之间外观指标的差异，结果表示为平均值±标准差；用双变量相关分析软件统计外观形状指标之间以及与蛋壳品质的相关性。

2 结果

2.1 3种日龄鸭蛋的外观形状 由表1可见，蛋形指数和球形度随着日龄的增加，呈先升高再下降趋势，且180日龄与740日龄间无显著差异，但都极显著低于500日龄。另外，绍兴鸭蛋的外观平均直径、表面积、体积均随着日龄的增加而增加，740日龄与500日龄间无显著差异，但都极显著高于180日龄。

2.2 绍兴鸭蛋外观形状之间的相关性 由表2~4可见，3种日龄绍兴鸭蛋的蛋形指数与球形度极显著正相关，而外观平均直径、表面积、体积之间极显著正相关；但蛋形指数、球形度与其他3个指标均无显著相关性。

2.3 绍兴鸭蛋外观形状与蛋壳品质之间的相关性 由表5~7可见，180日龄鸭蛋的蛋形指数以及球形度与壳膜重、钙化壳重显著负相关，与钙化壳厚度整齐性极显著正相关；而500日龄鸭蛋的蛋形指数以及球形度仅与钙化壳厚度整齐性极显著正相关；740日龄鸭蛋的蛋

表1 3种日龄绍兴鸭蛋的外观形状

指标	180日龄	500日龄	740日龄	P_1 值	P_2 值	P_3 值
蛋形指数, %	74.51±1.93 ^B	75.62±2.52 ^A	74.23±2.74 ^B	0.006	0.826	0.002
球形度, %	82.18±1.4 ^B	83.00±1.84 ^A	81.97±2.02 ^B	0.006	0.813	0.002
外观平均直径, mm	49.97±0.59 ^B	50.27±0.61 ^A	50.47±0.79 ^A	0.004	0.000	0.186
表面积, cm ²	78.441±1.839 ^B	79.413±1.932 ^A	80.055±2.512 ^A	0.004	0.000	0.177
体积, cm ³	65.340±2.295 ^B	66.558±2.432 ^A	67.377±3.166 ^A	0.004	0.000	0.169

注：同行数据肩注含相同大写字母表示差异不显著（ $P>0.05$ ），不同大写字母表示差异极显著（ $P<0.01$ ）； P_1 、 P_2 和 P_3 分别代表180与500日龄、180与740日龄、500与740日龄间的显著性。

表2 180日龄绍兴鸭蛋外观形状指标之间的相关性

外观指标	统计值	蛋形指数	球形度	几何平均直径	表面积	体积
蛋形指数	<i>r</i>	1	1.000	-0.119	-0.118	-0.118
	<i>P</i>		0.000**	0.280	0.283	0.284
球形度	<i>r</i>		1	-0.119	-0.118	-0.118
	<i>P</i>			0.283	0.285	0.287
外观平均直径	<i>r</i>			1	1.000	1.000
	<i>P</i>				0.000**	0.000**
表面积	<i>r</i>				1	1.000
	<i>P</i>					0.000**
体积	<i>r</i>					1
	<i>P</i>					

注：*r*代表 Pearson 相关系数；*代表指标之间显著相关 ($P<0.05$)，**代表极显著相关 ($P<0.01$)。下表同。

表3 500日龄绍兴鸭蛋外观形状指标之间的相关性

外观指标	统计值	蛋形指数	球形度	几何平均直径	表面积	体积
蛋形指数	<i>r</i>	1	1.000	-0.126	-0.126	-0.127
	<i>P</i>		0.000**	0.274	0.273	0.273
球形度	<i>r</i>		1	-0.126	-0.127	-0.127
	<i>P</i>			0.273	0.272	0.272
外观平均直径	<i>r</i>			1	1.000	1.000
	<i>P</i>				0.000**	0.000**
表面积	<i>r</i>				1	1.000
	<i>P</i>					0.000**
体积	<i>r</i>					1
	<i>P</i>					

表4 740日龄绍兴鸭蛋外观形状指标之间的相关性

外观指标	统计值	蛋形指数	球形度	几何平均直径	表面积	体积
蛋形指数	<i>r</i>	1	1.000	-0.145	-0.144	-0.143
	<i>P</i>		0.000**	0.171	0.172	0.176
球形度	<i>r</i>		1	-0.145	-0.145	-0.143
	<i>P</i>			0.170	0.172	0.175
外观平均直径	<i>r</i>			1	1.000	1.000
	<i>P</i>				0.000**	0.000**
表面积	<i>r</i>				1	1.000
	<i>P</i>					0.000**
体积	<i>r</i>					1
	<i>P</i>					

形指数以及球形度，与各个蛋壳指标均无显著相关性。

180日龄鸭蛋的外观平均直径、表面积以及体积，与蛋重、壳膜重极显著正相关（表5），500日龄鸭蛋的上述3个外观指标与蛋重、钙化壳重显著正相关（表6）；而740日龄鸭蛋的3个外观指标与蛋重、壳膜重、钙化壳重均显著正相关（表7）。

总之，绍兴鸭鸭蛋的外观形状与蛋壳品质之间的相关性随着日龄的变化而呈动态变化；但3个日龄的蛋重与外观平均直径、表面积、体积均极显著正相关，而钙化壳厚、蛋壳破碎强度与5个外观形状指标均无显著相关性。

3 讨论

蛋形指数是畜牧生产与研究中衡量禽蛋形状的经典指标，如果蛋形指数 <72 ，说明蛋属于尖长形蛋，蛋形指数 >76 则属于短圆形蛋，位于两者之间则属于标准形状^[7]。本研究结果显示，在180~740日龄，虽然鸭蛋的蛋形指数以及球形度（圆形度）会随着日龄的变化而变化，但蛋形指数都分布在72~76，说明绍兴鸭蛋在外形上始终属于标准形状。

对鸡蛋的研究表明，鸡蛋的蛋重、卵黄重以及蛋清的重量都会随着母鸡周龄的增加而增加^[14]。本研究中

表5 180日龄绍兴鸭蛋外观形状与蛋壳品质的相关性

外观指标	统计值	蛋重	壳膜重	钙化壳重	钙化壳厚	壳厚度整齐性	蛋壳强度
蛋形指数	<i>r</i>	-0.164	-0.245	-0.218	-0.094	0.453	0.046
	<i>P</i>	0.137	0.025*	0.046*	0.397	0.000**	0.678
球形度	<i>r</i>	-0.163	-0.245	-0.217	-0.093	0.453	0.046
	<i>P</i>	0.138	0.024*	0.047*	0.398	0.000**	0.680
外观平均直径	<i>r</i>	0.961	0.332	0.207	-0.187	-0.104	-0.143
	<i>P</i>	0.000**	0.002**	0.059	0.089	0.346	0.195
表面积	<i>r</i>	0.961	0.332	0.206	-0.187	-0.105	-0.143
	<i>P</i>	0.000**	0.002**	0.060	0.089	0.343	0.195
体积	<i>r</i>	0.961	0.332	0.205	-0.187	-0.105	-0.143
	<i>P</i>	0.000**	0.002**	0.061	0.088	0.344	0.194

表6 500日龄绍兴鸭蛋外观形状与蛋壳品质的相关性

外观指标	统计值	蛋重	壳膜重	钙化壳重	钙化壳厚	壳厚度整齐性	蛋壳强度
蛋形指数	<i>r</i>	-0.100	0.001	0.023	0.116	0.316	0.029
	<i>P</i>	0.386	0.996	0.843	0.315	0.005**	0.805
球形度	<i>r</i>	-0.100	0.000	0.022	0.115	0.316	0.028
	<i>P</i>	0.385	0.997	0.849	0.318	0.005**	0.810
外观平均直径	<i>r</i>	0.962	0.125	0.251	0.019	-0.193	0.006
	<i>P</i>	0.000**	0.279	0.027*	0.867	0.092	0.955
表面积	<i>r</i>	0.962	0.125	0.253	0.021	-0.195	0.007
	<i>P</i>	0.000**	0.279	0.026*	0.857	0.090	0.950
体积	<i>r</i>	0.962	0.125	0.255	0.023	-0.195	0.007
	<i>P</i>	0.000**	0.278	0.025*	0.844	0.089	0.949

表7 740日龄绍兴鸭蛋外观形状与蛋壳品质的相关性

外观指标	统计值	蛋重	壳膜重	钙化壳重	钙化壳厚	壳厚度整齐性	蛋壳强度
蛋形指数	<i>r</i>	-0.148	0.106	-0.009	0.079	0.080	0.039
	<i>P</i>	0.162	0.318	0.936	0.456	0.452	0.715
球形度	<i>r</i>	-0.148	0.106	-0.009	0.079	0.080	0.039
	<i>P</i>	0.162	0.319	0.934	0.458	0.451	0.716
外观平均直径	<i>r</i>	0.972	0.224	0.323	0.004	-0.135	-0.109
	<i>P</i>	0.000**	0.033*	0.002**	0.969	0.202	0.302
表面积	<i>r</i>	0.972	0.223	0.323	0.005	-0.133	-0.109
	<i>P</i>	0.000**	0.034*	0.002**	0.965	0.208	0.304
体积	<i>r</i>	0.972	0.223	0.324	0.005	-0.131	-0.109
	<i>P</i>	0.000**	0.034*	0.002**	0.961	0.215	0.305

绍兴鸭的蛋重也随着母鸭日龄的增加而增加(3种日龄的蛋重依次为70.64、71.55、72.76g),蛋重与外观平均直径、表面积、体积均极显著正相关,相关系数甚至大于0.96,即蛋重的增加会大概率引起外形的变大;与此相吻合,绍兴鸭蛋的外观平均直径、表面积、体积均随着蛋鸭日龄的增加而增加。本研究结果还显示,180日龄鸭蛋的外观平均直径、表面积、体积极显著低于500日龄与740日龄鸭蛋,但后两者之间无显著差异,意味着鸭蛋外观平均直径、表面积、体积与母鸭周龄不是单纯的线性关系,可能呈曲线相关,在产蛋周期的后期进入平台期,增加幅度越来越低。

钙化壳是禽类蛋壳抗机械压力的主要贡献者,占蛋壳厚度的70%,但同一枚蛋的钙化壳并非每处都厚度一致,而是有一定幅度的变化。因此,Sun等^[13]提出蛋壳厚度整齐性(Uniformity Of Eggshell Thickness)概念,并定义为同一枚蛋钙化壳不同部位厚度变异系数的倒数,并以52周龄海兰褐蛋鸡的蛋为研究对象,证明蛋壳厚度整齐性与蛋壳破碎强度极显著正相关。本研究结果表明,180日龄和500日龄绍兴鸭蛋的蛋壳厚度整齐性与蛋形指数、球形度极显著正相关,但到740日龄时却没有显著的相关性,这意味着在通常的产蛋周期内,厚度整齐性与蛋形指数、球形度具有显著相关性,但是

(下转第107页)

- by mastoparan, related amphiphilic peptides, and hydrophobic amines. Mechanism and structural determinants of activity[J]. *J Biol Chem*, 1990, 265(24): 14176-14186.
- [13] Higashijima T, Ross E M. Mapping of the mastoparan-binding site on G proteins: Cross-linking of [125I-Tyr3, Cys11]mastoparan to Go[J]. *J Biol Chem*, 1991, 266(19): 12655-12661.
- [14] Okada A, Wakamatsu K, Miyazawa T, et al. Vesicle-bound conformation of melittin: Transferred nuclear overhauser enhancement analysis in the presence of perdeuterated phosphatidylcholine vesicles[J]. *Biochemistry*, 1994, 33(32): 9438-9446.
- [15] 张晖, 戈婷婷, 彭沙沙, 等. 泰和乌骨鸡皮肤黑色素与多泡脂肪细胞的超微结构研究[J]. *畜牧兽医学报*, 2014, 45(5): 815-820.
- [16] 田颖刚, 徐德利, 廖春艳. 泰和乌骨鸡黑色素细胞形态与分布特征[J]. *中国家禽*, 2015, 37(1): 5-8.
- [17] Guo H, Zhong Y B, Hu X F, et al. Distribution rule of melanocytes in Taihe silky fowl's black skin[J]. *Indian J Anim Res*, 2017, 51(3): 582-587.
- [18] 杨永升, 邓学梅, 李宁, 等. MC1R 是控制鸡黑色素形成的候选主效基因[J]. *生物化学与生物物理进展*, 2004, 31(6): 500-505.
- [19] 王欢欢, 陈美玲, 楼立峰, 等. 鸡 GNAS 基因启动子突变及其与肤色性状的相关性[J]. *畜牧兽医学报*, 2016(12): 2354-2361.
- [20] Navarro G, Cordero A, Casadó-Anguera V, et al. Evidence for functional pre-coupled complexes of receptor heteromers and adenylyl cyclase[J]. *Nat Commun.*, 2018, 9(1): 1242.
- [21] Brust T F, Conley J M, Watts V J. Gai/o-coupled receptor-mediated sensitization of adenylyl cyclase: 40 years later[J]. *Eur J Pharmacol*, 2015, 763: 223-232.
- [22] 熊渺. α -MSH 和 cAMP 对泰和乌骨鸡黑色素细胞增殖及黑色素合成的影响研究[D]. 南昌: 江西农业大学, 2014.
- [23] Gerst J E, Yoram S. Inhibition by melittin and fluphenazine of melanotropin receptor function and Adenylate Cyclase in M2R melanoma cell membranes[J]. *Endocrinology*, 1987, 121(5): 1766-1772.
- [24] Lim H N, Baek S B, Jung H J. Bee venom and its peptide component melittin suppress growth and migration of melanoma cells via inhibition of PI3K/AKT/mTOR and MAPK pathways[J]. *Molecules*, 2019, 24(5): 929.

(责任编辑: 周会会)

(上接第 101 页)

随着日龄的增加,相关性会下降,甚至变成没有显著性;另外,3个日龄的蛋壳厚度整齐性与外观平均直径、表面积、体积均无显著性相关。

4 结论

本研究表明,绍兴鸭鸭蛋的外观平均直径、表面积、体积均随日龄增加而增加;5个外观形状指标总体上归为2组,蛋形指数与球形度之间高度正相关,而外观平均直径、表面积、体积之间高度正相关;绍兴鸭蛋的壳膜重、钙化壳重、厚度整齐性与外观形状相互关系的显著性因日龄而变化,但蛋重与外观平均直径、表面积、体积均极显著正相关,而钙化壳厚、蛋壳破碎强度与5个外观形状指标均无显著相关性。

参考文献:

- [1] Severa L, Nedomová Š, Buchar J, et al. Novel approaches in mathematical description of hen egg geometry[J]. *Int J Food Prop*, 2013, 16(7): 1472-1482.
- [2] Nedomová Š, Severa L, Buchar J. Influence of hen egg shape on eggshell compressive strength[J]. *Int Agrophys*, 2009, 23: 249-256.
- [3] Perianu C, De Ketelaere B, Pluymers B, et al. Finite element approach for simulating the dynamic mechanical behaviour of a chicken egg[J]. *Biosyst Eng*, 2010, 106(1): 79-85.
- [4] Sabliov C M, Farkas B E, Keener K M, et al. Cooling of shell eggs with cryogenic carbon dioxide: A finite element analysis of heat transfer[J]. *Lebensm-Wiss Technol*, 2002, 35: 568-574.
- [5] Denys S, Pieters J G, Dewettinck K. Combined CFD and experimental approach for determination of the surface heat transfer coefficient during thermal processing of eggs[J]. *J Food Sci*, 2003, 68(3): 943-951.
- [6] Stoddard M C, Yong E H, Akkaynak D, et al. Avian egg shape: Form, function, and evolution[J]. *Science*, 2017, 356: 1249-1254.
- [7] Sarica M, Erensayin C. Poultry Products[M]. Bey-Ofset: Ankara-Turkey, 2004: 100-160.
- [8] Narushin V G. The avian egg: Geometrical description and calculation of parameters[J]. *J Agr Eng Res*, 1997, 68(3): 201-205.
- [9] Mohsenin N N. Physical Properties of Plant and Animal Material [M]. New York: Gordon and Breach, 1970.
- [10] Baryeh E A, Mangope B K. Some physical properties of QP-38 variety pigeon pea[J]. *J Food Eng*, 2003, 56(1): 59-65.
- [11] Kumbar V, Nedomova S, Trnka J, et al. Effect of storage duration on the rheological properties of goose liquid egg products and eggshell membranes[J]. *Poult Sci*, 2016, 95: 1693-1701.
- [12] Liu Z G, Song L Z, Zhang F M, et al. Characteristics of global organic matrix in normal and pimpled chicken eggshells[J]. *Poult Sci*, 2017, 96(10): 3775-3784.
- [13] Sun C J, Chen S R, Xu G Y, et al. Global variation and uniformity of eggshell thickness for chicken eggs[J]. *Poult Sci*, 2012, 91: 2718-2721.
- [14] O'Sullivan N P, Dunnington E A, Siegel P B. Relationships among age of dam, egg components, embryo lipid transfer, and hatchability of broiler breeder eggs[J]. *Poult Sci*, 1991, 70: 2180-2185.

(责任编辑: 郑本艳)