

高琦, 徐洋, 孙铭阳, 等. 日粮中添加香菇柄对海兰褐鸡蛋品质的影响 [J]. 食品工业科技, 2023, 44(14): 46–52. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022080013

GAO Qi, XU Yang, SUN Mingyang, et al. Effects of Adding Shiitake Stipe to Diets on Egg Quality of Hy-Line Brown Hens[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(14): 46–52. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022080013

· 研究与探讨 ·

日粮中添加香菇柄对海兰褐鸡蛋品质的影响

高琦^{1,2}, 徐洋¹, 孙铭阳¹, 焦傲³, 邵振波¹, 刘双源¹, 焦龙⁴, 薛友林^{1,*}

(1. 辽宁大学轻型产业学院, 辽宁沈阳 110036;

2. 中共辽宁省委党校, 辽宁沈阳 110161;

3. 辽宁大学新华商学院, 辽宁沈阳 110036;

4. 辽宁岩海牧业有限公司, 辽宁鞍山 114000)

摘要: 本试验主要研究香菇柄粉对海兰褐鸡蛋品质和鸡蛋营养成分的影响。选取同一批次下生长健康的 40 周龄海兰褐母鸡 112 羽, 随机分为 4 组, 对照组饲喂基础日粮, 实验组额外添加 5%、10%、15% 的香菇柄粉。饲喂 20 周后进行蛋品质测定。结果表明, 实验组鸡蛋的重量和大小都显著高于对照组 ($P<0.05$), 鸡蛋的蛋壳和蛋清更重 ($P<0.05$), 蛋壳颜色更深、更红 ($P<0.05$), 15% 添加组最为显著; 实验组鸡蛋的营养物质较对照组更高, 5% 添加组效果最好, 其中蛋清中溶菌酶含量、蛋黄中卵磷脂含量、卵黄球蛋白含量都显著高于对照组 ($P<0.05$), 而蛋黄中胆固醇含量则显著低于对照组 ($P<0.05$); 蛋黄中 T-SOD 酶的活性和蛋清的 DPPH 自由基清除能力更高; 熟蛋清和熟蛋黄中芳香性挥发物质含量更高, 蛋清中氮氧化物含量更少, 蛋黄中的鲜味和咸味更高, 从感官评价上来看, 测评者更喜欢实验组的鸡蛋, 因为颜色更红润饱满香味更浓郁、纯正。总体来说, 实验组普遍优于对照组, 15% 添加组在蛋品质和抗氧化性方面表现较好, 5% 添加组在营养活性物质、感官特性上表现更好。

关键词: 香菇柄, 海兰褐鸡, 蛋鸡日粮, 蛋品质, 营养成分

中图分类号: TS253.2

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2023)14-0046-07

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2022080013



本文网刊:

Effects of Adding Shiitake Stipe to Diets on Egg Quality of Hy-Line Brown Hens

GAO Qi^{1,2}, XU Yang¹, SUN Mingyang¹, JIAO Ao³, SHAO Zhenbo¹, LIU Shuangyuan¹, JIAO Long⁴, XUE Youlin^{1,*}

(1. Collage of Light Industry, Liaoning University, Shenyang 110036, China;

2. Party School of Liaoning Provincial Party Committee, Shenyang 110161, China;

3. Sunwah International Business School, Liaoning University, Shenyang 110036, China;

4. Liaoning Yanhai Animal Husbandry Co., Ltd., Anshan 114000, China)

Abstract: This experiment mainly studied the effect of shiitake stipe powder on the quality and nutritional composition of eggs from Hy-Line brown hens. 112 healthy 40-week-old Hy-Line brown hens in the same batch were selected and were randomly divided into 4 groups. The control group was fed the basic diet and the experimental groups were supplemented with 5%, 10% and 15% of mushroom stalk powder, respectively. After 20 weeks of feeding, the egg quality was measured. The results showed that the average egg weight and size of the experimental groups were significantly higher than those of the control group ($P<0.05$). The eggshells from the experimental groups were heavier, darker and redder and the eggwhite of the experimental groups were also heavier ($P<0.05$), the 15% addition group was the most significant. Furthermore, the

收稿日期: 2022-08-03

基金项目: 教育部新农科研究与改革实践项目 (2020128); 教育部产学研合作协同育人项目 (202002115014, 202102654021); 辽宁省“兴辽英才计划”项目 (XLYC1807270); 辽宁省教育厅基本科研服务地方项目 (LJKFZ20220183); 泰州市高层次创新创业人才引进计划项目 (202149)。

作者简介: 高琦 (1980-), 女, 硕士, 副教授, 研究方向: 农产品加工, E-mail: gaoqi0925@163.com。

* 通信作者: 薛友林 (1980-) (ORCID: 0000-0002-4241-7942), 男, 博士, 教授, 研究方向: 农产品加工及食物营养, E-mail: xueyoulin@lnu.edu.cn。

nutrients in eggs of the experimental groups were higher than those in the control group, best results in the 5% addition group. On one hand, the content of lysozyme in egg white, lecithin and yolk globulin in egg yolk were significantly higher than those in the control group ($P<0.05$). On the other hand, the content of cholesterol in egg yolk was significantly lower than that in the control group. Furthermore, the nutrients in eggs of the experimental groups were higher than those in the control group ($P<0.05$), best results in the 5% addition group. On one hand, the content of lysozyme in egg white, lecithin and yolk globulin in egg yolk were significantly higher than those in the control group ($P<0.05$). In the experimental groups, the activity of egg yolk SOD and the DPPH free radical scavenging ability of egg white were higher. Furthermore, higher contents of aromatic volatiles were detected in the boiled egg whites and egg yolks of the experimental groups with lower nitrogen oxides in egg whites and higher umami and saltiness in egg yolks. According to sensory evaluation, the evaluators preferred the eggs of the experimental groups, because the eggs were redder and plumper with richer and purer flavor. Overall, the experimental group was generally better than the control group, with the 15% spiked group performing better in terms of egg quality and antioxidant properties, and the 5% spiked group performing better in terms of nutritional active substances and sensory characteristics.

Key words: shiitake stipe; hy-line brown hens; laying hens diet; egg quality; nutritional ingredients

香菇(*Lentinus edodes*)又名花菇、香菌,属于口蘑科,以其高营养价值和药用特性而闻名^[1]。菌帽和菌柄共同构成了香菇的可食部分,分别约占香菇干重的 75% 和 25%。与菌帽相比,香菇菌柄中所含的不溶性粗纤维比例较高,口感更为坚硬且咀嚼困难^[2]。因此在大多数的香菇加工厂中,菌柄都被当做废料所丢弃,这不仅对资源造成了浪费,也对生态环境造成了一定压力。

随着畜牧业、蛋鸡养殖产业的飞速发展,许多国家和地区开始倡导研究开发无毒副作用、无残留的安全型天然植物类饲料添加物。植物性饲料添加物的加入一方面有助于减少化学类添加剂的副作用,另一方面可以生产高品质鸡蛋,提升饲料和其他原料的利用率,促进蛋鸡产业高质量发展^[3-4]。目前为止,在饲料中辅以蘑菇类产品的研究已经有初步成效,但大多数研究集中于蘑菇子实体和相关提取物对蛋鸡生产性能和蛋品质的影响。而探究食用菌副产物,即香菇柄对鸡蛋影响的研究内容还较为空缺^[5-8]。

香菇柄作为香菇的主要农副产物,含有较高营养成分,但相关研究还较为空白。因此本实验以海兰褐鸡为研究对象,研究了在蛋鸡日粮中添加 5%、10%、15% 香菇柄粉对蛋品质、鸡蛋内活性成分及感官特性的影响,以期能在生产高品质鸡蛋的同时,减少香菇柄的浪费,实现香菇副产物的高值化利用。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

海兰褐母鸡(40 周龄,112 只,随机分为 4 组)来源于辽宁岩海牧业有限公司;香菇柄 购于辽宁省鞍山市岫岩县当地小型香菇场;实验日粮 采用玉米豆粕型日粮配方,加入预混料混合饲喂,具体成分组成见表 1;硫酸钾、硫酸铜、硝酸铝、芦丁、偏钒酸铵、钼酸铵、硫酸亚铁、水杨酸、邻苯三酚、Tris、磷酸二氢钠、磷酸氢二钠、碳酸氢钠 国药集团化学试剂有限公司;浓硫酸、氢氧化钠、硼酸、溴甲酚绿、甲基红、盐酸、无水碳酸钠、硫酸铵、氯化钠、乙酸、溶菌酶、无水乙醇、高氯酸、硝酸、磷酸二氢钾、苯酚、

表 1 蛋鸡日粮组成和营养水平
Table 1 Diets composition and nutritional level of laying hens

原料	含量(%)	营养水平	含量
玉米	62	基础代谢能(MJ/kg)	11.65
豆粕	22	粗蛋白(%)	16.45
麸皮	4	钙(%)	4
石粉	7	磷(%)	0.4
预混料	5	蛋氨酸(%)	0.4
合计	100	氯化钠(%)	0.55

过氧化氢、铁氰化钾、柠檬酸、石油醚 天津永大化学试剂有限公司;金龙鱼一级葵花籽油 金龙鱼粮油食品股份有限公司;总胆固醇测试盒、总超氧化物歧化酶试剂盒、谷胱甘肽过氧化物歧化酶试剂盒 南京建成生物工程研究所;卵黄球蛋白试剂盒 上海酶联生物科技有限公司;DPPH 北京索莱宝科技有限公司;氯化铁 天津市大茂试剂厂;SDS 天津市北辰方试剂厂;纯纤维素(标准品) 上海麦克林生化试剂有限公司。

蛋品质分析仪 XN-C2、蛋壳厚度测定仪 北京鑫诺辰仪器仪表有限公司;分光色彩精灵 45/0 光泽色度仪 毕克化学有限公司;KDN-19K全自动凯氏定氮仪 上海纤检仪器有限公司;Sorvall LYNX 4000 高速离心机 赛默飞世尔科技(中国)有限公司;MultiskanFC 酶标仪 赛默飞世尔(上海)仪器有限公司;2550 紫外可见分光光度计 日本岛津仪器;SCIENTZ-10N/A 冷冻干燥机 宁波新芝生物科技股份有限公司;CT3 质构仪、RSO 震荡流变仪 美国 BrookField 公司;PEN3 型便携式电子鼻、SA402B 电子舌 德国 Airsense 公司。

1.2 实验方法

1.2.1 香菇柄粉的制备 香菇柄晒干后使用打粉机打粉,过 80 目筛后均匀混入蛋鸡的基础日粮中,香菇柄基础成分如表 2 所示。

1.2.2 动物分组及处理 选取同一批次体态均匀生长健康的 40 周龄海兰褐母鸡 112 羽,随机分为

表 2 香菇柄基础成分

Table 2 Basic ingredients of shiitake stipe

成分	可溶性糖	纤维素	脂质	蛋白	灰分	多糖	黄酮
含量(%)	26.72±0.54	53.25±1.74	2.38±0.13	14.09±0.37	5.15±0.11	10.11±0.42	0.06±0.00

4 组, 每组 28 只。对照组饲喂基础日粮, 实验组在基础日粮的基础上额外添加 5%、10%、15% 的香菇柄粉。采用笼式喂养, 每笼 7 只鸡, 自由采食饮水, 全封闭鸡舍自动进料, 每天光照 16 h, 试验期间未使用过增蛋药物。实验开始 4 周后每天进行人工捡蛋并记录产蛋数, 每周记录一次各组鸡蛋蛋重。饲喂 20 周后进行蛋品质测定。

1.2.3 指标测定

1.2.3.1 蛋品质的测定 蛋重: 使用分析天平单个测量并记录鸡蛋的重量。

蛋形指数: 使用游标卡尺测量鸡蛋的长轴长度和短轴长度(mm), 蛋形指数按以下公式计算:

$$\text{蛋形指数} = \frac{\text{长轴长度}}{\text{短轴长度}}$$

蛋黄、蛋清重: 使用蛋黄分离器, 将蛋清蛋黄完全分开后放入培养皿中使用分析天平分别测量。

蛋白高度、哈氏单位: 使用鑫诺宸蛋品质分析仪 XN-C2 测量蛋白高度, 并计算哈氏单位。

蛋黄颜色: 使用分光色彩精灵 45/0 色度仪进行测定。

蛋壳颜色: 使用分光色彩精灵 45/0 色度仪进行测定。

蛋壳厚度: 使用鑫诺宸蛋壳厚度测定仪进行测定, 测定蛋壳钝端、锐端、中端的厚度, 并取平均值进行记录。

1.2.3.2 活性物质检测 蛋清粗蛋白含量: 使用凯氏定氮法测定蛋清中粗蛋白含量。

蛋清溶菌酶含量: 蛋清中溶菌酶含量参考侯启瑞等^[9]的方法进行测定。

蛋黄胆固醇含量: 蛋黄中总胆固醇采用总胆固醇测试盒测定。

蛋黄卵磷脂含量: 蛋黄中卵磷脂的测定按照朱云芬等^[10]的方法进行测定。

卵黄球蛋白含量: 通过双抗体夹心法使用卵黄球蛋白试剂盒测定其含量。

蛋黄脂肪酸检测: 按照 GB5009.168-2016 的测定方法^[11]进行测定。

1.2.3.3 抗氧化活性检测 蛋黄超氧化物歧化酶: 通过黄嘌呤氧化酶法, 使用总超氧化物歧化酶(T-SOD)试剂盒进行测定。

蛋黄谷胱甘肽过氧化物歧化酶: 使用谷胱甘肽过氧化物歧化酶(GSH-PX)试剂盒进行检测。

蛋清抗氧化能力: 按参考文献 [12-13] 方法进行测定。

1.2.3.4 鸡蛋感官特性检测 a.熟蛋的电子鼻检测: 将煮熟的蛋清和蛋黄使用研钵研磨至无块状结构后各取 3 g 放入电子鼻测试仪中采集传感器响应值。

b.熟蛋的电子舌检测: 将煮熟的蛋清和蛋黄研碎后各取 30 g 于离心管中, 匀质后定容。采用电子舌采集蛋清溶液和蛋黄溶液的传感器响应值。

c.鸡蛋感官评定: 参照国家标准 GB/T10220-2012^[14] 和李涛^[15] 的方法, 进行鸡蛋的感官评价。将煮熟的鸡蛋纵向分成 4 等份, 由 19 名评估员组成的小组对每组煮熟鸡蛋的感官品质进行评估。包括味道、外观、风味和质地, 具体评分标准见表 3。

表 3 鸡蛋感官评定标准

Table 3 Standard for sensory evaluation of eggs

项目	评价标准	分值
外观(10分)	蛋壳颜色较浅, 表面不平或有异物	0~4
	蛋壳颜色适中, 表面基本光滑	4~6
	蛋壳颜色饱满, 表面光滑无异物	6~10
香气(10分)	无特殊香气	0~4
	有淡淡的鸡蛋香味	4~6
	有醇正的鸡蛋香味	6~10
风味(10分)	风味一般	0~4
	风味较好	4~6
	风味怡人	6~10
口感(10分)	不好, 咀嚼时过硬或过软, 有粗糙感	0~4
	较好, 咀嚼时偏硬或偏软, 略有粗糙感	4~6
	非常好, 咀嚼时软硬适中, 没有粗糙感	6~10

1.3 数据处理

试验分三组平行测定, 每组重复 3 次, 将各组数据计算平均值并作为最终结果, 计算数据标准差。使用 Excel2016 软件对数据进行统计分析并制图, 使用 SPSS20.0 软件 ANOVA 模块进行数据处理和统计分析, 用 LSD 法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 日粮中添加香菇柄对蛋品质的影响

由表 4 可以看出, 香菇柄的加入不仅可以提高鸡蛋重量, 还增加了鸡蛋的长短轴。所有实验组的短轴长度均高于对照组, 且差异显著($P<0.05$), 5% 添加组的短轴较对照组来说增加了 3.04%, 而 10% 添加组和 15% 添加组则分别增加了 4.2% 和 4.67%。最为显著的是, 15% 添加组的长轴较对照组增加了 5.33%, 但是香菇柄的加入对于蛋形指数来说没有显著影响($P>0.05$)。蛋壳重量随着香菇柄添加量的增加而增加($P<0.05$), 而蛋壳厚度没有显著变化($P>0.05$)。

有研究表明添加, 香菇可以有效提高蛋白高度和哈氏单位^[16], 本实验也表现出了类似的趋势, 但是和之前研究不同的是, 在本次实验中的哈氏单位虽然较对照组有所提升, 但是差异不显著, 这可能时因为

表 4 日粮中添加香菇柄对蛋品质的影响
Table 4 Effects of adding shiitake stipe to the diets on egg quality

项目	添加量			
	0%	5%	10%	15%
蛋重(g)	57.68±0.94 ^d	61.51±0.41 ^c	63.27±0.36 ^b	66.12±0.31 ^a
长轴(mm)	5.62±0.07 ^b	5.70±0.10 ^b	5.69±0.10 ^b	5.92±0.07 ^a
短轴(mm)	4.28±0.05 ^c	4.41±0.04 ^b	4.46±0.03 ^{ab}	4.48±0.04 ^a
蛋形指数	1.31±0.03 ^a	1.29±0.03 ^a	1.28±0.03 ^a	1.32±0.03 ^a
蛋壳重量(g)	6.09±0.51 ^b	6.46±0.33 ^{ab}	6.99±0.65 ^a	7.20±0.51 ^a
蛋壳厚度(mm)	0.33±0.01 ^a	0.34±0.02 ^a	0.35±0.02 ^a	0.35±0.03 ^a
蛋白高度(mm)	6.34±0.34 ^b	6.85±0.61 ^{ab}	7.20±0.34 ^a	6.94±0.48 ^{ab}
哈氏单位	79.68±2.68 ^a	81.65±4.04 ^a	83.5±2.05 ^a	81.16±3.24 ^a
蛋黄重(g)	15.93±0.58 ^a	16.55±1.3 ^a	16.47±1.11 ^a	16.47±0.75 ^a
蛋清重(g)	35.65±0.95 ^c	38.5±1.4 ^b	39.8±1.79 ^b	42.45±0.92 ^a
蛋黄色差	<i>L</i> [*]	55.37±1.00 ^a	56.85±1.84 ^a	55.52±2.54 ^a
	<i>a</i> [*]	9.20±1.38 ^a	8.48±0.83 ^a	7.52±0.98 ^b
	<i>b</i> [*]	54.02±1.76 ^a	49.24±3.67 ^b	49.25±2.88 ^b
	<i>L</i> [*]	63.13±1.18 ^a	55.92±0.76 ^b	53.43±0.98 ^c
蛋壳色差	<i>a</i> [*]	15.34±0.5 ^b	18.18±0.46 ^a	18.38±0.49 ^a
	<i>b</i> [*]	25.66±1.25 ^b	28.45±0.83 ^a	28.21±0.86 ^a

注: 同行上标不同小写字母表示差异显著($P<0.05$); 表5、表7同。

前人的实验中加入的是香菇子实体, 而本实验加入的为香菇柄, 且二者添加量不同。本次实验中鸡蛋重量的差别主要体现在蛋清重量的变化上, 四组鸡蛋的蛋黄重量没有太大差别, 而实验组的蛋清重量则分别高于对照组 7.99%、11.64%、19.07%。

对于蛋黄颜色来说, 香菇柄的加入并没有太大影响。蛋黄 L^* 几乎没有差别, 10% 添加组的 a^* 值比其他三组稍低, 而 5% 和 10% 添加组的 b^* 值比其他两组小。在本次实验中添加香菇柄的实验组蛋壳颜色和对照组之间差别较大, 主要体现在蛋壳 L^* 值随添加量的增大而减小, 实验组蛋壳 a^* 和 b^* 值显著高于对照组 ($P<0.05$)。这与 Ogbe 等^[17]的研究结果相似, 当在日粮中加入药用灵芝时, 鸡蛋会变得更大, 且蛋壳颜色变得更深。总的来说, 香菇柄的加入显著提升了鸡蛋的重量、大小、蛋清重量, 蛋壳看起来更深更红, 更受消费者的喜欢^[18]。

2.2 日粮中添加香菇柄对鸡蛋营养及活性物质的影响

日粮中添加香菇柄对蛋清蛋白质、溶菌酶含量, 蛋黄卵磷脂、胆固醇、卵黄球蛋白 IgY 的影响如表 5 所示。香菇柄的添加对蛋清蛋白质含量的影响不大 ($P>0.05$), 但是对溶菌酶的含量有较好的提升作用。溶菌酶^[19-20]作为一种碱性蛋白酶抑菌剂, 天然存在于鸡蛋清中, 可以通过切断肽聚糖中 β -1, 4 糖苷键, 从而破坏肽聚糖支架, 通过渗透压作用破坏细胞而将细菌裂解^[21]。有研究显示, 蛋清溶菌酶对枯草杆菌具有非常好的抑制效果^[22], 对金黄色葡萄球菌和大肠杆菌也表现出明显抑制作用且和溶菌酶含量呈正相关^[23]。5% 添加组的鸡蛋溶菌酶含量最高, 比对照组高 19.2%, 10% 和 15% 添加组分别比对照组高 3.0% 和 8.5%, 添加香菇柄可以有效增加蛋清中的溶菌酶含量。

表 5 日粮中添加香菇柄对鸡蛋营养及活性物质的影响
Table 5 Effects of adding shiitake stipe to the diets on egg nutrition and active substances

项目	添加量			
	0%	5%	10%	15%
蛋清蛋白质(%)	10.22±0.62 ^a	10.38±0.73 ^a	9.92±1.38 ^a	9.88±1.16 ^a
溶菌酶(mg/g)	9.24±0.36 ^c	11.01±0.02 ^a	9.52±0.5 ^{bc}	10.03±0.36 ^b
蛋黄卵磷脂(mg/g)	5.20±0.22 ^c	5.91±0.25 ^a	5.75±0.18 ^{ab}	5.39±0.19 ^{bc}
卵黄球蛋白(mg/g)	36.68±2.6 ^b	41.65±0.91 ^a	40.33±0.8 ^a	40.92±0.26 ^a
蛋黄胆固醇(mg/g)	13.68±1.49 ^a	11.46±1.39 ^b	12.59±1.2 ^{ab}	10.09±1.25 ^c

香菇柄的加入提高了鸡蛋中的卵磷脂含量, 卵磷脂作为与蛋白质维生素并列的“第三营养素”为人体提供 90% 的外援胆碱, 具有提高记忆力、保护血管、预防老年痴呆等多种功效^[24]。5% 添加组卵磷脂的含量最高, 比对照组高出 13.7%。10% 和 15% 添加组分别比对照组高出 10.6% 和 3.7%。

鸡卵黄免疫球蛋白作为卵黄中唯一免疫球蛋白, 对鸡蛋的免疫抑菌起至关重要的作用^[25]。卵黄球蛋白可以通过黏附的方式贴在病原菌的细胞壁及菌毛上, 破坏病原菌细胞体的完整性及吸附功能^[26]。而香菇柄的加入可以显著提高蛋黄中免疫球蛋白的含量 ($P<0.05$), 实验组蛋黄的卵黄球蛋白含量比对照组平均高出 11.7%, 这对于提高鸡蛋的抑菌性、蛋品质和延长鸡蛋保鲜期有重要帮助。

鸡蛋中营养丰富, 但是蛋黄中较高的胆固醇含量一直使其饱受争议, 香菇柄的添加可以在一定程度上降低蛋黄中胆固醇水平。5% 添加组与对照组相比胆固醇含量降低了 16.2%, 10% 添加组降低了 8%, 15% 添加组降低了 26.2%。生产低胆固醇鸡蛋一直是众多学者研究的目标, 在蛋鸡日粮中添加蘑菇类产品可以有效降低鸡蛋中的胆固醇含量。在之前的研究中, 在蛋鸡日粮中加入 0.5% 的香菇即可显著降低鸡蛋中的胆固醇含量^[16], 添加 20 g/kg 的蛹虫草蘑菇废弃物也可以降低胆固醇含量^[27]。杏鲍菇也表现出类似的效果, 在 Lee 等^[8]的研究中, 添加 1% 日粮水平的杏鲍菇干茎残渣可显著降低鸡蛋胆固醇含量。

鸡蛋中的脂肪酸含量由表 6 所示, 所有实验组的亚麻酸和 DHA 含量均高于对照组, 5% 和 10% 添加组的亚油酸含量高于对照组, 而 5% 和 15% 添加组的棕榈油酸含量低于对照组。国外也有研究显示, 香菇的加入会使鸡蛋中的亚油酸、总 n-6 和多不饱和脂肪酸含量增加^[16]。这和之前实验结果中鸡蛋中胆固醇的降低相吻合。

2.3 日粮中添加香菇柄对鸡蛋抗氧化性的影响

日粮中添加香菇柄对鸡蛋抗氧化性的影响结果如表 7 所示, 香菇柄的加入对于提高超氧化物歧化酶(T-SOD)具有显著效果($P<0.05$), 且随着添加量的增加而增加。5% 和 10% 添加组的 T-SOD 酶活性比对照组高出 27.4%, 15% 添加组比对照组高出 41.1%。

表6 日粮中添加香菇柄对蛋黄脂肪酸的影响

Table 6 Effect of adding shiitake stipe to the diets on fatty acid composition in egg yolk

脂肪酸	添加量			
	0%	5%	10%	15%
C14:0(豆蔻酸)	0.44	0.38	0.50	0.37
C16:0(棕榈酸)	25.95	26.07	27.76	27.37
C16:1(棕榈油酸)	3.35	2.90	4.62	3.14
C17:0(十七烷酸)	—	0.18	—	0.16
C18:0(硬脂酸)	6.03	5.90	5.52	6.56
C18:1t(反-9-十八碳一烯酸)	—	0.10	—	0.11
C18:1n9c(油酸)	40.12	37.65	36.83	38.48
C18:2n6c(亚油酸)	20.75	23.04	21.28	20.10
C18:3n6(γ -亚麻酸)	—	0.10	—	0.11
C20:1(花生一烯酸)	—	0.13	—	0.15
C18:3n3(亚麻酸)	0.47	0.65	0.64	0.51
C20:2(花生二烯酸)	—	0.16	—	0.15
C20:3n6(顺,顺-8,11,14-二十碳三烯酸)	—	—	—	0.13
C20:4(二十碳四烯酸)	2.36	2.15	2.31	2.06
C22:6(二十二碳六烯酸)	0.53	0.58	0.55	0.60

注: 脂肪酸成分均采用面积归一化法分析。

但是对于谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-PX)来说, 香菇柄的加入并没有太大影响($P>0.05$)。这和杨博文等^[7]的研究类似, 该研究显示在蛋鸡的日粮中添加一定浓度的双孢菇菌杆可以显著增加蛋黄 SOD 酶的活性, 而该实验组蛋黄中谷胱甘肽过氧化物酶的含量也显著增加; Giannenas 等^[28]发现 1% 和 2% 双孢菇子实体可以增加鸡血清中谷胱甘肽还原酶、谷胱甘肽过氧化物酶和谷胱甘肽 S 转移酶的含量; 除此之外在鸡的日粮中添加猴头菌发酵浓缩物、冬虫夏草中的次生代谢产物均可以显著提高鸡血清的抗氧化能力^[27,29]。

表7 日粮中添加香菇柄对鸡蛋抗氧化性的影响

Table 7 Effect of adding shiitake stipe to the diets on the antioxidant activities of eggs

项目	添加量			
	0%	5%	10%	15%
蛋黄T-SOD(U/g)	442.48±8.38 ^a	563.93±4.84 ^b	563.93±6.59 ^b	624.12±9.15 ^a
蛋黄GSH-PX(U/mg protein)	35.72±5.56 ^a	41.47±4.04 ^a	37.06±7.00 ^a	46.23±9.63 ^a
蛋清DPPH清除能力(%)	0.13±0.02 ^b	0.19±0.01 ^a	0.20±0.01 ^a	0.17±0.02 ^a
蛋清羟基自由基清除能力(%)	2.53±0.05 ^b	2.56±0.01 ^b	2.57±0.01 ^{ab}	2.61±0.01 ^a
蛋清还原力	0.09±0.00 ^a	0.10±0.00 ^a	0.11±0.00 ^a	0.10±0.00 ^a

由表7可知, 实验组 DPPH 自由基清除能力显著高于对照组($P<0.05$), 分别高出 46.2%、53.8%、30.8%。羟基自由基清除能力随香菇柄添加量的增加而增加, 15% 添加组最高, 显著高于对照组($P<0.05$), 而在总还原力方面四组之间均无显著差异($P>0.05$)。香菇柄中的香菇多糖被认为具有良好的抗氧化性^[30-31], 香菇多糖的含量与其抗氧化能力呈正相关, 香菇多糖能有效清除 DPPH 自由基、羟基自由

基和超氧自由基, 因此推测可能是由于香菇多糖的自由基清除能力改善了蛋鸡血液的抗氧化状态, 卵巢等器官受到血液影响, 从而提高了实验组鸡蛋蛋清的自由基清除能力。

2.4 感官特性

蛋清的电子鼻测试结果如图1A所示, 添加香菇柄鸡蛋蛋清的芳香性挥发物质含量高于对照组($P<0.05$), 这表明实验组的蛋清具有更多的怡人香味。氮氧化物通常不被人们所接受, 本次实验组的氮氧化物含量均显著低于对照组($P<0.05$), 尤其是 5% 添加组比对照组减少了 59%。不仅如此, 对照组氨类、芳香型物质的含量也比实验组更少($P<0.05$), 而对照组硫化物含量最多, 显著高于实验组($P<0.05$)。硫化物通常带有令人不愉快的味道, 而香菇柄的加入可以有效减少该种气味的产生。

蛋黄的电子鼻测试结果如图1B所示, 与蛋清的电子鼻结果类似, 实验组蛋黄的芳香性物质含量也高于对照组, 其中 10% 添加组香气含量最高, 比对照组高出 19.7%($P<0.05$)。对照组的烃类化合物含量比其他三组高, 尤其是 5% 和 10% 添加组, 分别减少了 13.4% 和 23.5%($P<0.05$)。香菇柄的加入对氮氧化物、氨类、烷烃、某些芳香成分、硫化物和有机硫化物的影响不大($P>0.05$)。此外, 15% 添加组的氢气和醇类含量也比不添加香菇柄的蛋黄低。

蛋清的电子舌测试结果如图2A所示, 总体来说香菇柄的加入对于鸡蛋电子舌的影响不大, 在苦味、

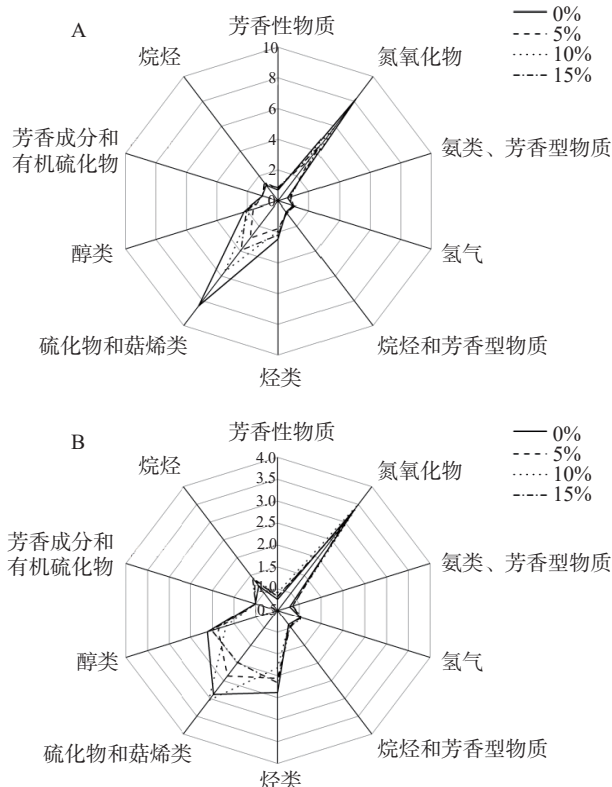


图1 蛋清(A)、蛋黄(B)电子鼻分析图

Fig.1 Electronic nose analysis chart of egg white (A) and egg yolk (B)

涩味、回味 a、回味 b 和丰富性方面四组鸡蛋没有显著性差异 ($P>0.05$)。但是对照组较 5% 和 10% 添加组表现出了更多的酸味 ($P<0.05$), 实验组蛋清的鲜味和咸味也显著低于对照组 ($P<0.05$)。

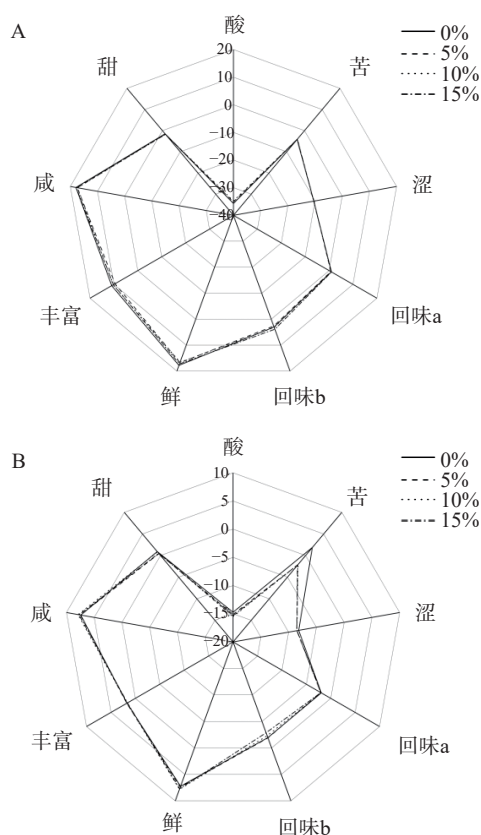


图 2 蛋清(A)、蛋黄(B)电子舌分析图

Fig.2 Electronic tongue analysis chart of egg white (A) and egg yolk (B)

蛋黄的电子舌测试结果如图 2B 所示, 对照组与实验组相比酸味更高, 随添加量增高, 酸味降低。实验组整体苦味低于对照组, 尤其是 5% 添加组苦味最低。香菇柄的加入可以显著提高蛋黄的鲜味和咸味 ($P<0.05$), 其中 10% 添加组效果最好。与蛋清的电子舌结果相似, 对照组的甜味最高 ($P<0.05$), 而 15% 添加组在回味 b 方面比其他三组更低 ($P<0.05$)。

鸡蛋的整体感官评价如图 3 所示, 其中鸡蛋外

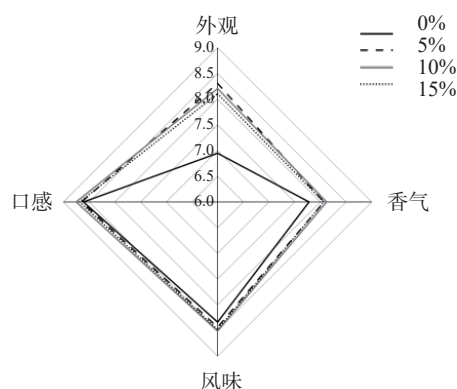


图 3 鸡蛋的感官评分

Fig.3 Sensory evaluation scores of eggs

观的感官差异较大。对照组为 6.95 分, 其他三组分别为 8.31 分、8.21 分和 8.11 分, 测试者普遍认为 5% 添加组的鸡蛋外表看起来更平整、红润, 具有更诱人的色泽。同样实验组的香气也比对照组略好, 测试者认为鸡蛋香味更浓郁纯正, 这之前电子鼻的测试结果相似, 可能是因为添加香菇柄的鸡蛋中芳香性挥发性物质含量更高。而对于鸡蛋的口感和风味测试者认为并没有太大的区别, 香菇柄的加入没有太大影响。

3 结论

实验发现, 在蛋鸡日粮中加入香菇柄可以有效提高鸡蛋的平均蛋重, 实验组的鸡蛋更大、更重, 蛋壳颜色更深、更红; 实验组鸡蛋营养品质更好, 蛋清溶菌酶、蛋黄卵磷脂、卵黄球蛋白含量更高, 而蛋黄胆固醇含量则更低。添加香菇柄可以提高蛋黄中 T-SOD 酶活性和蛋清中 DPPH 自由基清除能力; 在感官品质方面, 实验组的蛋清、蛋黄芳香性挥发性物质含量更高, 蛋清中氮氧化物和硫化物含量更低, 蛋黄的苦味更少而鲜味和咸味更高, 在感官评价中, 实验组鸡蛋的外观更吸引人, 香气更纯正, 更受测试者喜爱。数据表明, 在日粮中添加 5%、10%、15% 的香菇柄, 均可提高鸡蛋的营养和活性物质含量, 且 5% 感官特性更佳, 并且拥有更高的经济效益。综上所述, 在日粮中添加香菇柄粉可以有效提高鸡蛋品质, 综合考虑感官评价与经济效益, 认为在日粮中添加 5% 香菇柄最佳。目前为止, 在饲料中辅以蘑菇类产品的研究已经有初步成效, 但大多数研究集中于蘑菇子实体和相关提取物对蛋鸡生产性能和蛋品质的影响。而探究食用菌副产物, 即香菇柄对鸡蛋影响的研究内容还较为空缺。研究旨在探索日粮中添加香菇柄对蛋鸡鸡蛋的营养品质和感官品质的影响, 为改善鸡蛋综合品质和提高香菇柄的利用率提供新的思路 and 理论依据。

参考文献

- [1] LIU J, CHANG M, MENG J, et al. Effect of ozone treatment on the quality and enzyme activity of *Lentinus edodes* during cold storage[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2020, 44(8): e14557.
- [2] 高虹, 史德芳, 何建军, 等. 超微粉碎对香菇柄功能成分和特性的影响[J]. 食品科学, 2010, 31(5): 40-43. [GAO H, SHI D F, HE J J, et al. Effect of superfine grinding on functional components and properties of *Lentinus edodes* stems[J]. Food Science, 2010, 31(5): 40-43.]
- [3] 农业农村部畜牧兽医局 全国畜牧总站. 2020 年蛋鸡产业发展形势及 2021 年展望[J]. 中国畜牧业, 2021(1): 42-43. [National Animal Husbandry Station of the Animal Husbandry and Veterinary Bureau of the Ministry of Agriculture and Rural Affairs. Egg industry development situation in 2020 and outlook for 2021[J]. China Animal Industry, 2021(1): 42-43.]
- [4] 左丽霞, 杨景. 新形势下蛋鸡产业高质量发展关键点[J]. 今日畜牧兽医, 2021, 37(4): 42-43. [ZUO L X, YANG J. Key points for high-quality development of the egg industry in the new situation[J]. Hebei Xumu Shouyi, 2021, 37(4): 42-43.]
- [5] GUO F C, WILLIAMS B A, KWAKKEL R P, et al. Effects of mushroom and herb polysaccharides, as alternatives for an antibiotic

- ic, on the cecal microbial ecosystem in broiler chickens[J]. *Poultry Science*, 2004, 83(2): 175-182.
- [6] MAHFUZ S, SONG H, WEI J, et al. Organic egg production, egg quality, calcium utilization, and digestibility in laying hens fed with mushroom (*Flammulina velutipes*) stem waste[J]. *Brazilian Journal of Poultry Science*, 2018, 20: 717-724.
- [7] YANG B, ZHAO G, WANG L, et al. Effects of the *Agaricus bisporus* stem residue on performance, nutrients digestibility and antioxidant activity of laying hens and its effects on egg storage[J]. *Animal Bioscience*, 2021, 34(2): 256.
- [8] LEE T T, CIOU J Y, CHEN C N, et al. The effect of *Pleurotus eryngii* stipe residue dietary supplementation on layer performance, egg traits and oxidative status[J]. *Annals of Animal Science*, 2015, 15(2): 447.
- [9] 侯启瑞, 王金玉, 谢凯舟, 等. 测定鸡蛋蛋清中溶菌酶含量和活力标准方法的建立[J]. 中国畜牧杂志, 2010, 46(3): 49-52.
- [10] HOU Q R, WANG J Y, XIE K Z, et al. Standard method establishing of determining the lysozyme content and enzyme activity in egg white[J]. *Chinese Journal of Animal Science*, 2010, 46(3): 49-52.
- [11] 朱云芬, 陈宽维, 葛庆联, 等. 分光光度法测定鸡蛋黄卵磷脂含量[J]. 江苏农业学报, 2010, 26(4): 853-856. [ZHU Y F, CHEN K W, GE Q L, et al. Spectrophotometric determination of egg-yolk lecithin content[J]. *Jiangsu Journal of Agricultural Science*, 2010, 26(4): 853-856.]
- [12] 国家食品药品监督管理总局. GB5009.168-2016 食品安全国家标准 食品中脂肪酸的测定方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016. [State Food and Drug Administration. GB5009.168-2016 Food Safety National Standard. Method for the determination of fatty acids in food[S]. Beijing: China Standards Publishing House, 2016.]
- [13] SUN S, NIU H, YANG T, et al. Antioxidant and anti-fatigue activities of egg white peptides prepared by pepsin digestion[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2014, 94(15): 3195-3200.
- [14] 杨珊珊, 刘会平, 张璐, 等. 蛋清多肽体内外抗氧化活性的研究[J]. 食品工业科技, 2019, 40(22): 40-43, 48. [YANG S S, LIU H P, ZHANG L, et al. Antioxidant activity of egg white polypeptide *in vitro/vivo*[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2019, 40(22): 40-43, 48.]
- [15] 中国国家标准化管理委员会. GB/T 10220-2012 感官分析方法学总论[S]. 北京: 中国标准出版社, 2012. [China National Standardization Administration Committee. GB/T 10220-2012 General theory of sensory analysis methodology[S]. Beijing: China Standards Publishing House, 2012.]
- [16] 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. [LI T. Study on the effect of green tea powder on the quality and processing characteristics of Huainan ephedra eggs[D]. Hefei: Anhui Agricultural University, 2019.]
- [17] HWANG J A, HOSSAIN M E, YUN D H, et al. Effect of shiitake [*Lentinula edodes* (Berk.) Pegler] mushroom on laying performance, egg quality, fatty acid composition and cholesterol concentration of eggs in layer chickens[J]. *Journal of Medicinal Plants Research*, 2012, 6(1): 146-153.
- [18] OGBE A O, DITSE U, ECHEONWU I, et al. Potential of a wild medicinal mushroom, *Ganoderma* sp., as feed supplement in chicken diet: effect on performance and health of pullets[J]. *International Journal of Poultry Science*, 2009, 8(11): 1052-1057.
- [19] RONDONI A, ASIOLI D, MILLAN E. Consumer behaviour, perceptions, and preferences towards eggs: A review of the literature and discussion of industry implications[J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2020, 106: 391-401.
- [20] 杨曼利. 鸡蛋清中溶菌酶的提取及改性研究[D]. 无锡: 江南大学, 2014. [YANG M L. Extraction and modification of lysozyme from egg white[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2014.]
- [21] BUKHARIN O V, VALYSHEV A V. Microbial inhibitors of lysozyme[J]. *Zhurnal Mikrobiologii, Epidemiologii, i Immunobiologii*, 2006, 4(4): 8-13.
- [22] 黄敏, 孔明航, 王丽明. 鸡蛋清中溶菌酶的提取与抑菌作用[J]. 中国食品添加剂, 2010(3): 154-157. [HUANG M, KONG M H, WANG M L. The extraction and antibacterial effect of lysozyme from hen-egg white[J]. *China Food Additives*, 2010(3): 154-157.]
- [23] 徐静, 陈巧尔, 俞耀飞, 等. 不同品种鸡蛋蛋清溶菌酶粗提率及蛋清抑菌效果的比较[J]. 畜牧与饲料科学, 2017, 38(1): 16-17. [XU J, CHEN Q E, YU Y F, et al. Comparison of crude extraction rate of egg white lysozyme and antibacterial effect of egg white in eggs from different breeds of laying hens[J]. *Animal Husbandry and Feed Science*, 2017, 38(1): 16-17.]
- [24] MINE Y. Recent advances in egg protein functionality in the food system[J]. *World's Poultry Science Journal*, 2002, 58(1): 31-39.
- [25] 关爱国. 鸡蛋中卵磷脂提取工艺研究[J]. 食品安全导刊, 2021(34): 122-124. [GUAN A G. Study on the extraction technology of lecithin from eggs[J]. *China Food Safety Magazine*, 2021(34): 122-124.]
- [26] 吕豪杰, 严昌国, 崔莲花. 鸡卵黄抗体及其在动物疾病防治中的应用[J]. 延边大学农学学报, 2019, 41(4): 99-105. [LV H J, YAN C G, CUI L H. Chicken yolk antibody and its application in animal disease control[J]. *Journal of Agricultural Science Yanbian University*, 2019, 41(4): 99-105.]
- [27] 祝贵新. 卵黄球蛋白 Y 的制备及应用[J]. 养殖技术顾问, 2011(5): 201. [ZHU G X. Preparation and application of yolk globulin Y[J]. *Technical Advisor For Animal Husbandry*, 2011(5): 201.]
- [28] WANG C L, CHIANG C J, CHAO Y P, et al. Effect of *Cordyceps militaris* waster medium on production performance, egg traits and egg yolk cholesterol of laying hens[J]. *The Journal of Poultry Science*, 2015: 0140191.
- [29] GIANNENAS I, TONTIS D, TSALIE E, et al. Influence of dietary mushroom *Agaricus bisporus* on intestinal morphology and microflora composition in broiler chickens[J]. *Research in Veterinary Science*, 2010, 89(1): 78-84.
- [30] SHANG H M, SONG H, JIANG Y Y, et al. Influence of fermentation concentrate of *Hericium caput-medusae* (Bull.: Fr.) Pers. on performance, antioxidant status, and meat quality in broilers[J]. *Animal Feed Science and Technology*, 2014, 198: 166-175.
- [31] 郑婷婷, 范江平, 谷大海, 等. 四种食用野生菌多糖成分及活性机理研究进展[J]. 农产品加工, 2017(7): 51-56, 59. [ZHENG T T, FAN J P, GU D H, et al. Study on the composition and activity mechanism of polysaccharide from four kinds of wild edible mushrooms[J]. *Academic Periodical of Farm Products Processing*, 2017(7): 51-56, 59.]
- [32] YIN C, FAN X, FAN Z, et al. Optimization of enzymes-microwave-ultrasound assisted extraction of *Lentinus edodes* polysaccharides and determination of its antioxidant activity[J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2018(7): 446-454.