

# 吡咯喹啉醌对蛋鸡生产性能、蛋品质及抗氧化功能的影响

徐磊<sup>1</sup> 张海军<sup>1</sup> 武书庚<sup>1\*</sup> 岳洪源<sup>1</sup> 齐广海<sup>1</sup> 孙琳琳<sup>2</sup>

(1. 中国农业科学院饲料研究所, 农业部饲料生物技术重点开放实验室, 北京 100081;

2. 上海医学生命科学研究中心有限公司, 上海 200032)

**摘要:** 本试验旨在研究饲料中添加不同水平的吡咯喹啉醌(PQQ)对蛋鸡生产性能、蛋品质及抗氧化功能的影响。试验选用378只50周龄健康海兰灰蛋鸡, 随机分为7组, 每组6个重复, 每个重复9只鸡, 分别在基础饲料中添加不同水平[0、0.005、0.010、0.020、0.040、0.080、0.160 mg/(d·只)]的PQQ。试验期6周。结果表明, 饲料PQQ有提高蛋鸡产蛋率、蛋品质、鸡蛋蛋白高度和哈氏单位的趋势, 但差异不显著( $P > 0.05$ ); PQQ添加组血浆和肝脏谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)、总超氧化物歧化酶(T-SOD)活性显著提高( $P < 0.05$ ); PQQ抑制超氧阴离子自由基( $O_2^- \cdot$ )和羟自由基( $\cdot OH$ )能力显著增强( $P < 0.05$ ); PQQ可显著降低血浆和肝脏中丙二醛(MDA)含量( $P < 0.05$ )。由此可见, 饲料中添加PQQ有提高蛋鸡产蛋率和蛋品质的趋势; 改善蛋鸡的抗氧化能力, 其中以0.010 mg/(d·只)的添加量效果最佳。

**关键词:** PQQ; 生产性能; 蛋品质; 抗氧化功能

**中图分类号:** S831; S831.5

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1006-267X(2011)08-1370-08

吡咯喹啉醌(PQQ)是20世纪60年代新发现的一种氧化还原酶的辅酶, 它广泛存在于动植物和微生物体内, 具有促进生物体生长发育, 改善机体健康的重要作用。研究表明, PQQ是新生鼠的生长因子<sup>[1]</sup>, 脑组织氧化还原位点的N-甲基-D-天冬氨酸的潜在调节剂<sup>[2]</sup>, 也是一种抗氧化剂<sup>[3]</sup>, 对机体免疫有重要作用<sup>[4]</sup>。PQQ能刺激生物体生长, Killgore等<sup>[5]</sup>和Smidt等<sup>[6]</sup>研究表明, 哺乳动物必须从饲料中获得一定量的PQQ才能满足自身的生长发育需要, 如给小鼠饲喂缺乏PQQ的饲料, 雌鼠出现不育或残食新生幼鼠的数量增加, 而且出生幼鼠会产生皮肤脆弱、身体弯曲、弓背、动脉出现肿瘤等症状, 严重者腹部出血甚至死亡。PQQ同样具有很强的自由基清除能力, 还原态PQQ(PQQH<sub>2</sub>)清除自由基的能力强于维生素C、半胱氨酸、尿酸和谷胱甘肽<sup>[7]</sup>, 其清除超氧阴离子

自由基( $O_2^- \cdot$ )和羟自由基( $\cdot OH$ )的能力较抗坏血酸高50~100倍<sup>[8]</sup>。在鸡胚注射皮质醇之前先注射PQQ, 则晶状体白内障较少, 肝脏的谷胱甘肽还原酶(glutathione reductase)水平也很稳定, 若单独给鸡胚注射PQQ, 则晶状体和肝脏GSH水平均会增加<sup>[9]</sup>。目前, 关于PQQ的研究大部分集中在微生物、鼠和体外模型上, 未见关于蛋鸡的相关报道。本试验拟采用产蛋率和蛋品质已有下降的产蛋后期50周龄蛋鸡作为试验动物, 研究不同水平PQQ对蛋鸡生产性能、蛋品质及抗氧化功能的影响, 探讨其对机体抗氧化功能的影响以及合理的添加量, 为实际生产提供理论依据。

## 1 材料与amp;方法

### 1.1 试验材料

PQQ由微生物发酵得到, 纯度为99.9%以

收稿日期: 2011-03-10

基金项目: 现代农业产业技术体系项目(CARS-41); 家禽产业技术体系北京市创新团队项目

作者简介: 徐磊(1984—), 男, 黑龙江哈尔滨人, 硕士研究生, 从事动物产品品质的研究。E-mail: xulei5217@163.com

\*通讯作者: 武书庚, 副研究员, 硕士生导师, E-mail: wushugeng@mail.caas.net.cn

上,由上海医学生命科学研究中心有限公司馈赠。

## 1.2 试验设计及饲粮

试验采用单因子试验设计,选择 378 只 50 周龄生产性能相似的健康海兰灰蛋鸡,随机分为 7 组,每组 6 个重复,每个重复 9 只鸡。预试期 7 d,正试期 42 d。对照组饲喂基础饲粮,试验组分别在基础饲粮中每天添加 0.27、0.54、1.08、2.16、4.32 和 8.64 mg PQQ,以保证试验饲粮中 PQQ 水平分别为 0.005、0.010、0.020、0.040、0.080 和 0.160 mg/(d·只)。

基础饲粮在参照 NRC(1994)和中华人民共和国农业行业标准 NY/T 33—2004 的基础上,结合海兰灰蛋鸡饲养手册配制。试验采用玉米-豆粕-棉粕型粉状饲粮,鉴于 PQQ 具有易氧化的性质,本试验将 PQQ 制成水溶液,每天上午每组取约占采食量的 1/2 饲粮,均匀喷洒并搅拌均匀,以保证蛋鸡能够采食完全,每天鸡只采食完 PQQ 饲粮后自由采食基础饲粮。

## 1.3 饲养管理

采用半开放式鸡舍 4 层立体笼养,自然光照加人工补光,每天光照时间为 16 h、光照强度为 20 LX,相对湿度 50%~90%,通风方式采用自然通风结合纵向负压通风。饲料为干粉料,每天布料 2 次,匀料 4 次,自由采食和饮水,每天捡蛋 2 次,每周消毒 1 次,每天清粪 2 次。常规防疫和免疫。

## 1.4 指标测定与方法

### 1.4.1 样品采集与制备

在试验期,每天以重复为单位记录产蛋数和蛋重,并计算平均蛋重、产蛋量和产蛋率。

每周以重复为单位计算耗料量和料蛋比。分别于试验的第 2 周、4 周和 6 周末,每个重复采 10 枚蛋,用于测定蛋壳强度、蛋壳厚度、蛋白高度、哈夫单位、蛋黄颜色和蛋形指数等蛋品质指标。于试验的第 2 周和 4 周末,每组随机选取体重相近的蛋鸡,进行空腹无菌翅静脉采血,3 000 r/min 离心 10 min 制备血浆,−80 ℃ 保存,待测血浆抗氧化指标。6 周末进行屠宰试验,采血并摘取肝脏,制备肝组织匀浆,备检肝组织抗氧化指标。组织匀浆的制备:将肝脏用生理盐水冲洗,除去血液,滤纸吸干,称取 0.5 g,加 9 倍生理盐水,剪碎,置匀浆机中制成 10% 的组织匀浆 3 000 r/min 离心 10 min,取上清液,−80 ℃ 保存待测。

表 1 基础饲粮组成及营养水平(风干基础)

Table 1 Composition and nutrient levels of the basal diet (air-dry basis)		%
项目 Items		含量 Content
原料 Ingredients		
玉米 Corn		63.20
豆粕 Soybean meal		17.70
棉籽粕 Cottonseed meal		2.90
芝麻饼 Peanut cake		2.90
石粉 Limestone		8.40
鱼粉 Fish meal		2.38
预混料 Premix <sup>1)</sup>		2.52
合计 Total		100.00
营养水平 Nutrient levels <sup>2)</sup>		
代谢能 ME/(MJ/kg)		10.98
粗蛋白质 CP		16.20
钙 Ca		3.45
总磷 TP		0.60
有效磷 AP		0.39
赖氨酸 Lys		0.74
蛋氨酸 Met		0.38

<sup>1)</sup> 预混料为每千克饲粮提供 Premix provided per kg of diet: VA 12 500 IU, VD<sub>3</sub> 4 125 IU, VE 15 IU, VK 2 mg, 硫胺素 thiamine 1 mg, 核黄素 riboflavin 8.5 mg, 泛酸钙 calcium pantothenate 50 mg, 烟酸 niacin 32.5 mg, 吡哆醇 pyridoxine 8 mg, 生物素 biotin 2 mg, 叶酸 folic acid 5 mg, VB<sub>12</sub> 5 mg, 胆碱 choline 500 mg, Mn 65 mg, I 1 mg, Fe 60 mg, Cu 8 mg, Zn 66 mg, Se 0.3 mg。

<sup>2)</sup> 营养水平为计算值。Nutrient levels were calculated values.

### 1.4.2 测定方法

蛋壳强度、蛋壳厚度、蛋白高度、蛋黄颜色和哈氏单位采用以色列 ORKA 公司生产的系列鸡蛋品质测定仪进行测定,蛋形指数采用日本富士坪公司生产的蛋形指数测定仪测定;总超氧化物歧化酶(T-SOD)活性采用黄嘌呤氧化酶法测定;丙二醛(MDA)含量采用硫代巴比妥酸(TBA)法测定;谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)活性、抑制·OH能力、抗 O<sub>2</sub><sup>·−</sup>能力以比色法测定。以上指标所用试剂盒购自南京建成生物工程研究所,采用 UV-1750 岛津紫外可见分光光度计测定吸光度。

## 1.5 数据处理

数据经 Excel 处理,采用 SPSS 16.0 的 ANOVA 过程进行方差分析,利用其中的 Polynomial 考察趋势变化,并采用 Duncan 氏法进行多重

比较,  $P < 0.05$  为差异显著性,  $P < 0.01$  为差异极显著。

## 2 结果与分析

### 2.1 PQQ 对蛋鸡生产性能的影响

由表 2 可知, 饲料中添加 PQQ 对蛋鸡的产蛋率影响较为明显, 而对平均蛋重、平均日采食量和料蛋比无显著影响 ( $P > 0.05$ )。

试验第 1~2 周 0.010 mg/(d·只) 组产蛋率在数据上高于对照组和其他试验组, 但差异不显著 ( $P > 0.05$ ); 试验第 3~4 周和 5~6 周, 试验组产蛋率与对照组相比差异不显著 ( $P > 0.05$ ); 试验

第 1~4 周, 0.010 mg/(d·只) 组高于对照组 4.16 个百分点, 但差异不显著 ( $P > 0.05$ ); 试验第 1~6 周, 0.010 mg/(d·只) 组产蛋率最高, 但与各组相比差异不显著 ( $P > 0.05$ )。

整个试验期, 对照组平均蛋重均最高, 随着饲料中 PQQ 添加量的提高, 平均蛋重有降低的趋势, 但差异不显著 ( $P > 0.05$ )。饲料中添加 PQQ 对蛋鸡平均日采食量和料蛋比无显著影响 ( $P > 0.05$ )。可见, 随着 PQQ 添加量的提高, 平均蛋重呈下降趋势, 平均日采食量和料蛋比无显著变化, 饲料添加 PQQ 有提高蛋鸡产蛋率的作用, 0.010 mg/(d·只) 组产蛋率最高。

表 2 饲料中添加不同水平 PQQ 对蛋鸡生产性能的影响

Table 2 Effects of dietary PQQ on performance of laying hens

项目 Items	时间 Time/ week	添加水平 Supplemental levels/[mg/(d·只)]							SEM	P 值 P-value	
		0	0.005	0.010	0.020	0.040	0.080	0.160		线性 Linear	二次 Quadratic
产蛋率 Laying rate/%	1~2	88.49	88.36	93.81	84.13	88.62	89.55	89.68	1.20	0.93	0.83
	3~4	88.14	89.81	89.06	81.75	86.26	87.43	88.27	1.06	0.68	0.29
	5~6	87.29	87.24	87.23	86.98	85.26	82.67	82.80	1.18	0.07	0.90
	1~4	88.32	89.74	92.48	82.94	88.53	88.49	88.98	0.68	0.55	0.48
	1~6	88.63	89.70	90.03	84.29	88.79	86.55	86.92	0.73	0.24	0.60
	1~2	63.00	62.26	62.68	63.15	61.21	62.18	61.69	0.24	0.11	0.88
平均蛋重 Average egg weight/g	3~4	62.95	62.30	62.30	62.91	61.12	62.18	61.98	0.23	0.18	0.62
	5~6	63.88	62.46	62.82	62.71	61.65	61.82	62.68	0.29	0.15	0.24
	1~4	63.07	62.28	62.49	63.03	61.16	62.18	61.83	0.23	0.11	0.80
	1~6	63.34	62.34	62.60	62.92	61.32	62.06	62.11	0.24	0.11	0.52
	1~2	119.80	119.37	119.90	120.12	115.45	113.99	119.48	0.99	0.21	0.59
	3~4	115.85	116.77	115.27	113.78	111.62	107.94	111.82	1.08	0.03	0.92
平均日采 食量 Average daily feed intake/g	5~6	114.66	113.61	115.10	113.47	107.19	105.60	109.94	1.27	0.05	0.94
	1~4	117.83	119.46	119.27	120.09	113.54	112.74	116.70	1.05	0.11	0.71
	1~6	116.77	116.82	116.74	116.91	111.00	110.99	114.45	0.98	0.08	0.83
	1~2	2.16	2.23	2.14	2.30	2.14	2.05	2.21	0.03	0.59	0.95
	3~4	2.10	2.23	2.07	2.13	2.13	2.03	2.06	0.03	0.25	0.59
	5~6	2.04	2.19	2.09	2.13	2.03	2.03	2.15	0.03	0.82	0.79
料蛋比 Feed/egg	1~4	2.15	2.23	2.11	2.15	2.13	2.05	2.14	0.02	0.36	0.78
	1~6	2.09	2.14	2.10	2.11	2.10	2.06	2.09	0.01	0.43	0.70

同行数据肩注不同字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ ), 相同字母或者无字母表示差异不显著 ( $P > 0.05$ )。下表同。

In the same row, values with different letter superscripts mean significant difference ( $P < 0.05$ ), while with the same or no letter superscripts mean no significant difference ( $P > 0.05$ ). The same as below.

### 2.2 PQQ 对鸡蛋品质的影响

由表 3 可知, 饲喂 2 周后, PQQ 可线性提高鸡蛋蛋壳厚度、蛋白高度和哈氏单位 ( $P < 0.01$ ); 随添加时间的延长, PQQ 对蛋壳厚度和蛋白高度的调控效应逐渐减弱。试验第 4 周时, 试验组哈氏

单位在数值上仍高于对照组, 但差异不显著 ( $P > 0.05$ ); 试验第 6 周时, PQQ 线性增加哈氏单位 ( $P = 0.05$ ), PQQ 添加量为 0.080 mg/(d·只) 时, 蛋白高度和哈氏单位达到最高; 0.160 mg/(d·只) 时, 蛋白高度和哈氏单位开始下

降,但各组间差异不显著( $P>0.05$ )。

无显著影响( $P>0.05$ )。

### PQQ 对鸡蛋蛋壳强度、蛋形指数和蛋黄颜色

表 3 饲料中添加不同水平 PQQ 对蛋鸡鸡蛋品质的影响  
Table 3 Effects of dietary PQQ on egg quality of laying hens

项目 Items	时间 Time/ week	添加水平 Supplemental levels/[mg/(d·只)]							SEM	P 值 P-value	
		0	0.005	0.010	0.020	0.040	0.080	0.160		线性 Linear	二次 Quadratic
蛋壳强度 Eggshell strength/(N/m <sup>2</sup> )	2	37.86	38.66	37.45	36.44	37.37	36.66	36.74	0.48	0.30	0.82
	4	33.41	36.19	32.43	34.93	34.82	35.20	37.18	0.69	0.24	0.50
	6	34.45	36.66	38.41	35.23	35.39	35.60	34.37	0.63	0.55	0.25
蛋壳厚度 Eggshell thick- ness/mm	2	0.34	0.34	0.34	0.35	0.35	0.35	0.35	0.002	<0.01	0.44
	4	0.38	0.38	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.001	0.24	0.17
	6	0.35	0.36	0.35	0.35	0.35	0.35	0.36	0.001	0.30	0.42
蛋形指数 Egg shape index	2	1.31	1.32	1.33	1.32	1.32	1.32	1.32	0.004	0.93	0.30
	4	1.31	1.30	1.30	1.30	1.30	1.32	1.30	0.004	0.65	0.75
	6	1.34	1.33	1.34	1.33	1.33	1.34	1.36	0.01	0.28	0.08
蛋白高度 Albumen height/mm	2	4.81	4.83	4.95	5.20	5.22	5.11	5.22	0.05	<0.01	0.33
	4	5.43	5.49	5.50	5.49	5.59	5.47	5.30	0.05	0.64	0.24
	6	5.73	5.66	5.54	5.61	5.75	5.99	5.81	0.06	0.18	0.34
蛋黄颜色 Yolk color	2	8.39	8.39	8.17	8.28	8.28	8.28	8.06	0.06	0.17	0.87
	4	7.89	8.17	8.06	8.06	7.83	7.78	7.78	0.07	0.21	0.40
	6	7.28	7.28	7.50	7.56	7.83	7.28	7.44	0.09	0.49	0.22
哈氏单位 Haugh unit	2	67.56	66.98	67.66	70.59	71.16	70.96	70.59	0.53	<0.01	0.50
	4	71.93	72.56	72.35	74.78	72.85	73.15	71.44	0.45	0.97	0.12
	6	71.91	71.96	72.02	73.94	75.33	75.61	73.14	0.52	0.05	0.31

### 2.3 PQQ 对血清抗氧化指标的影响

由表 4 可知,试验组血浆 GSH-Px 活性与对照组相比显著提高( $P<0.05$ ),第 2 周时,试验组 GSH-Px 活性呈极显著提高( $P<0.01$ ),但从第 4 周开始 GSH-Px 活性则逐渐过渡到 0.010 mg/(d·只)组最高,到第 6 周时,0.01 mg/(d·只)组比对照组高 16.82%。

PQQ 可显著提高血浆 T-SOD 活性( $P<0.05$ ),且整个试验期都是 0.010 mg/(d·只)组最高,与对照组相比其在第 2、4、6 周时分别升高 19.23%、10.84% 和 12.26%。

与对照组相比,PQQ 组血浆 MDA 含量显著降低( $P<0.05$ ),从第 4 周时开始过渡到 0.010 mg/(d·只)组最低,到第 6 周时其含量比对照组低 30.22%。

表 4 表明,试验组血浆抗 O<sub>2</sub><sup>-</sup>· 能力与对照组相比显著提高( $P<0.05$ ),其中第 2 周和第 6 周差异极显著( $P<0.01$ ),第 6 周时

0.160 mg/(d·只)组比对照组提高 31.66%;与对照组相比试验组血浆抑制·OH 能力显著提高( $P<0.05$ ),第 6 周时达到最佳效果(比对照组提高 21.85%)。随 PQQ 添加量的提高,血浆清除 O<sub>2</sub><sup>-</sup>· 和·OH 能力呈逐渐增强的趋势,但 0.010 mg/(d·只)之上增强趋势渐缓。

### 2.4 PQQ 对肝脏抗氧化指标的影响

由表 5 可知,蛋鸡饲料中添加 PQQ 可显著提高肝脏 GSH-Px 活性( $P<0.05$ ),其中 0.010 mg/(d·只)组活性最高,比对照组高 54.20%;PQQ 可显著提高蛋鸡肝脏 T-SOD 活性( $P<0.05$ ),且随着 PQQ 添加量的提高其活性呈先升高后降低的趋势,0.010 mg/(d·只)组活性最高,比对照组高 20.02%。

与对照组相比试验组肝脏 MDA 含量极显著降低( $P<0.01$ ),且随着 PQQ 添加量的提高,MDA 含量逐渐降低。0.010 和 0.080 mg/(d·只)组较对照组分别降低 27.50% 和 35.00%。

表4 饲粮中添加不同水平PQQ对蛋鸡血浆抗氧化指标的影响

Table 4 Effects of dietary PQQ on antioxidant indices in plasma of laying hens

项目 Items	时间 Time/ week	添加水平 Supplemental levels/[mg/(d·只)]						SEM	P 值 P-value	
		0	0.005	0.010	0.020	0.040	0.080		0.160	线性 Linear
谷胱甘肽过氧化物酶 GSH-Px/(U/mL)	2	2 731.60 <sup>b</sup>	3 252.20 <sup>a</sup>	3 351.90 <sup>a</sup>	3 266.80 <sup>a</sup>	3 368.90 <sup>a</sup>	3 361.60 <sup>a</sup>	3 393.20 <sup>a</sup>	<0.01	0.05
	4	2 792.40 <sup>b</sup>	3 079.50 <sup>a</sup>	3 171.90 <sup>a</sup>	3 084.30 <sup>a</sup>	3 111.11 <sup>a</sup>	3 154.90 <sup>a</sup>	3 113.50 <sup>a</sup>	0.02	0.03
	6	3 071.70 <sup>b</sup>	3 410.60 <sup>a</sup>	3 588.30 <sup>a</sup>	3 525.20 <sup>a</sup>	3 494.80 <sup>a</sup>	3 429.40 <sup>a</sup>	3 410.60 <sup>a</sup>	0.04	<0.01
超氧化物歧化酶 T-SOD/(U/mL)	2	261.09 <sup>b</sup>	280.97 <sup>ab</sup>	311.29 <sup>a</sup>	294.11 <sup>a</sup>	307.59 <sup>a</sup>	307.42 <sup>a</sup>	303.37 <sup>a</sup>	<0.01	0.03
	4	304.64 <sup>b</sup>	321.56 <sup>ab</sup>	337.67 <sup>a</sup>	332.30 <sup>a</sup>	337.18 <sup>a</sup>	333.12 <sup>a</sup>	328.40 <sup>a</sup>	0.01	<0.01
	6	290.18 <sup>b</sup>	316.57 <sup>ab</sup>	325.75 <sup>a</sup>	320.02 <sup>ab</sup>	311.00 <sup>ab</sup>	319.69 <sup>ab</sup>	315.92 <sup>ab</sup>	0.20	0.09
丙二醛 MDA/(nmol/mL)	2	11.69 <sup>a</sup>	9.26 <sup>b</sup>	8.87 <sup>b</sup>	8.95 <sup>b</sup>	8.49 <sup>b</sup>	8.31 <sup>b</sup>	7.64 <sup>b</sup>	<0.01	0.09
	4	11.22 <sup>a</sup>	9.09 <sup>b</sup>	8.29 <sup>b</sup>	8.91 <sup>b</sup>	8.76 <sup>b</sup>	8.38 <sup>b</sup>	8.64 <sup>b</sup>	0.03	0.07
	6	10.59 <sup>a</sup>	8.51 <sup>b</sup>	7.39 <sup>b</sup>	8.42 <sup>b</sup>	8.11 <sup>b</sup>	7.97 <sup>b</sup>	8.38 <sup>b</sup>	<0.01	<0.01
超氧阴离子 O <sub>2</sub> <sup>-</sup> ·/(U/L)	2	1 081.80 <sup>b</sup>	1 110.10 <sup>b</sup>	1 241.90 <sup>a</sup>	1 187.20 <sup>a</sup>	1 213.50 <sup>a</sup>	1 258.10 <sup>a</sup>	1 260.80 <sup>a</sup>	<0.01	0.11
	4	1 376.30 <sup>b</sup>	1 444.00 <sup>ab</sup>	1 489.60 <sup>a</sup>	1 475.10 <sup>a</sup>	1 472.40 <sup>a</sup>	1 465.40 <sup>a</sup>	1 464.10 <sup>a</sup>	0.04	0.02
	6	1 414.40 <sup>b</sup>	1 493.30 <sup>b</sup>	1 728.90 <sup>a</sup>	1 852.20 <sup>a</sup>	1 858.90 <sup>a</sup>	1 860.00 <sup>a</sup>	1 862.20 <sup>a</sup>	<0.01	<0.01
羟自由基 ·OH/(U/mL)	2	4 564.50 <sup>b</sup>	5 073.80 <sup>a</sup>	5 201.00 <sup>a</sup>	5 173.20 <sup>a</sup>	5 264.10 <sup>a</sup>	5 252.50 <sup>a</sup>	5 511.50 <sup>a</sup>	<0.01	0.23
	4	5 661.70 <sup>b</sup>	6 378.10 <sup>a</sup>	6 421.10 <sup>a</sup>	6 437.80 <sup>a</sup>	6 484.30 <sup>a</sup>	6 581.80 <sup>a</sup>	6 688.00 <sup>a</sup>	<0.01	0.17
	6	5 997.70 <sup>b</sup>	6 787.70 <sup>ab</sup>	6 839.80 <sup>ab</sup>	6 958.70 <sup>ab</sup>	7 112.30 <sup>ab</sup>	7 237.70 <sup>a</sup>	7 303.90 <sup>a</sup>	0.02	0.37

表5 饲粮中添加不同水平PQQ对蛋鸡肝脏抗氧化指标的影响

Table 5 Effects of dietary PQQ on antioxidant indices in liver of laying hens

项目 Items	时间 Time/ week	添加水平 Supplemental levels/[mg/(d·只)]						SEM	P 值 P-value	
		0	0.005	0.010	0.020	0.040	0.080		0.160	线性 Linear
谷胱甘肽过氧化物酶 GSH-Px/(U/mg prot)	2	24.55 <sup>b</sup>	32.51 <sup>ab</sup>	37.91 <sup>a</sup>	36.52 <sup>a</sup>	37.54 <sup>a</sup>	36.91 <sup>a</sup>	35.25 <sup>a</sup>	1.28	0.02
	4	25.23 <sup>b</sup>	31.56 <sup>ab</sup>	36.87 <sup>a</sup>	35.52 <sup>a</sup>	36.52 <sup>a</sup>	35.52 <sup>a</sup>	34.52 <sup>a</sup>	1.99	0.10
	6	27.03 <sup>b</sup>	31.29 <sup>ab</sup>	32.73 <sup>ab</sup>	32.92 <sup>ab</sup>	33.79 <sup>ab</sup>	35.79 <sup>a</sup>	34.30 <sup>ab</sup>	0.02	0.27
超氧化物歧化酶 T-SOD/(U/mg prot)	2	91.26 <sup>b</sup>	104.60 <sup>ab</sup>	109.53 <sup>a</sup>	104.55 <sup>ab</sup>	108.81 <sup>a</sup>	107.96 <sup>a</sup>	104.51 <sup>ab</sup>	1.99	0.05
	4	91.26 <sup>b</sup>	104.60 <sup>ab</sup>	109.53 <sup>a</sup>	104.55 <sup>ab</sup>	108.81 <sup>a</sup>	107.96 <sup>a</sup>	104.51 <sup>ab</sup>	1.99	0.05
	6	91.26 <sup>b</sup>	104.60 <sup>ab</sup>	109.53 <sup>a</sup>	104.55 <sup>ab</sup>	108.81 <sup>a</sup>	107.96 <sup>a</sup>	104.51 <sup>ab</sup>	1.99	0.05
丙二醛 MDA/(nmol/mg prot)	2	0.80 <sup>a</sup>	0.63 <sup>ab</sup>	0.58 <sup>b</sup>	0.58 <sup>b</sup>	0.57 <sup>b</sup>	0.57 <sup>b</sup>	0.52 <sup>b</sup>	0.02	0.12
	4	0.80 <sup>a</sup>	0.63 <sup>ab</sup>	0.58 <sup>b</sup>	0.58 <sup>b</sup>	0.57 <sup>b</sup>	0.57 <sup>b</sup>	0.52 <sup>b</sup>	0.02	0.12
	6	0.80 <sup>a</sup>	0.63 <sup>ab</sup>	0.58 <sup>b</sup>	0.58 <sup>b</sup>	0.57 <sup>b</sup>	0.57 <sup>b</sup>	0.52 <sup>b</sup>	0.02	0.12
超氧阴离子 O <sub>2</sub> <sup>-</sup> ·/(U/g prot)	2	252.97 <sup>b</sup>	290.60 <sup>ab</sup>	311.69 <sup>ab</sup>	313.02 <sup>ab</sup>	315.56 <sup>ab</sup>	319.05 <sup>a</sup>	322.25 <sup>a</sup>	7.80	0.17
	4	252.97 <sup>b</sup>	290.60 <sup>ab</sup>	311.69 <sup>ab</sup>	313.02 <sup>ab</sup>	315.56 <sup>ab</sup>	319.05 <sup>a</sup>	322.25 <sup>a</sup>	7.80	0.17
	6	252.97 <sup>b</sup>	290.60 <sup>ab</sup>	311.69 <sup>ab</sup>	313.02 <sup>ab</sup>	315.56 <sup>ab</sup>	319.05 <sup>a</sup>	322.25 <sup>a</sup>	7.80	0.17
羟自由基 ·OH/(U/mg prot)	2	27.03 <sup>b</sup>	31.29 <sup>ab</sup>	32.73 <sup>ab</sup>	32.92 <sup>ab</sup>	33.79 <sup>ab</sup>	35.79 <sup>a</sup>	34.30 <sup>ab</sup>	0.92	0.27
	4	27.03 <sup>b</sup>	31.29 <sup>ab</sup>	32.73 <sup>ab</sup>	32.92 <sup>ab</sup>	33.79 <sup>ab</sup>	35.79 <sup>a</sup>	34.30 <sup>ab</sup>	0.92	0.27
	6	27.03 <sup>b</sup>	31.29 <sup>ab</sup>	32.73 <sup>ab</sup>	32.92 <sup>ab</sup>	33.79 <sup>ab</sup>	35.79 <sup>a</sup>	34.30 <sup>ab</sup>	0.92	0.27

试验组肝脏抗  $O_2^-$  能力比对照组显著提高 ( $P < 0.05$ ), 且随着 PQQ 添加量的提高, 其能力逐渐增强, 0.010 和 0.160 mg/(d·只) 组较对照组分别提高 23.21% 和 27.39%; PQQ 添加组肝脏清除 ·OH 能力比对照组显著增强 ( $P < 0.05$ ), 且随着 PQQ 添加量的提高, 其能力呈先上升后下降的趋势, 0.160 mg/(d·只) 组开始下降, 其中 0.010 mg/(d·只) 组较对照组提高 21.09%, 而 0.080 mg/(d·只) 组提高 32.41%。

## 3 讨论

### 3.1 PQQ 对蛋鸡生产性能的影响

本试验结果表明, PQQ 对蛋鸡的平均日采食量和料蛋比没有影响, 但有提高产蛋率和降低平均蛋重的趋势, 其中 0.010 mg/(d·只) 组产蛋率提高较明显, 原因可能是 PQQ 具有促进生物体生长发育的功能<sup>[10-11]</sup>, 对蛋鸡的生殖系统产生了有益的作用<sup>[5,12]</sup>, 0.010 mg/(d·只) 组免疫力和抗氧化能力等较强。

蛋重是蛋鸡生产中十分重要的经济指标, 影响蛋重的主要因素有品种、蛋鸡的周龄、环境因素、营养、光照程序等。在上述因素都相同的情况下, 本试验结果表明, 饲料中添加 PQQ 有降低平均蛋重的趋势, 说明 PQQ 可能直接或间接影响了鸡蛋形成过程中的某个环节, 导致蛋重下降, 其具体原因仍需进一步研究。

### 3.2 PQQ 对蛋鸡蛋品质的影响

鸡蛋品质的评定包括蛋壳强度、蛋壳厚度、蛋形指数、蛋白高度、蛋黄颜色、哈氏单位等指标。影响蛋壳的因素较多, 主要有遗传因素、年龄、营养因素、环境因素和疾病等。钙吸收过程中, 维生素 D 在肝细胞线粒体内转化为 2,5-二羟维生素 D, 与特异性受体结合, 增加细胞通透性, 促进钙离子进入细胞, 而赖氨酸也可促进钙的吸收。本试验结果表明, PQQ 有提高蛋壳厚度的趋势, 但对蛋壳强度没有影响, 可能是因为 PQQ 增加了线粒体的生物合成<sup>[13]</sup>, 改变了赖氨酸代谢<sup>[14]</sup>, 从而促进了钙的吸收。

蛋白高度和哈氏单位是衡量鸡蛋新鲜程度的重要指标之一, 其主要受浓蛋白量及黏度影响。本试验结果表明, 蛋鸡饲料中添加 PQQ, 其蛋白高度和哈氏单位呈先升高后降低的趋势, 原因可能是 PQQ 通过增加线粒体的数量和功能<sup>[15]</sup>, 从而提

高了输卵管膨大部或壳腺的能量代谢, 促进了卵黏蛋白(影响浓蛋白胶体性质的主要因素<sup>[16]</sup>)的分泌, 导致蛋白质质量的改善, 从而使蛋白高度和哈氏单位增加, 但高剂量的 PQQ 则会导致鸡蛋品质下降。

### 3.3 PQQ 对蛋鸡抗氧化能力的影响

#### 3.3.1 PQQ 对蛋鸡抗氧化酶活力的影响

GSH-Px 是生物机体内重要的抗氧化酶之一, 它能消除机体内的过氧化氢及脂质过氧化物, 使还原型谷胱甘肽(GSH)转变为氧化型的谷胱甘肽(GSSG), 达到保护机体的目的。Sugioka 等<sup>[17]</sup>指出了 PQQ 的抗氧化机制: 还原态 PQQ 把它的还原 H 传递给辅酶 II ( $NADP^+$ ) 使其转变为还原型辅酶 II ( $NADPH$ ), 然后把 GSSG 转变为 GSH。反应遵循如下 2 个方程式:  $PQQ(2H) + NADP^+ \rightarrow NADPH + H^+ + PQQ$  和  $NADPH + H^+ + GSSG \rightarrow 2GSH + NADP^+$ , 可以看出, 一个还原态 PQQ 氧化伴随 2 个 GSH 生成, 所以其清除超氧化物比细胞的传统清除方式更有效。本试验结果表明, 试验组的 GSH-Px 活性显著高于对照组, 原因可能是伴随着 GSH 的大量生成, GSH-Px 的作用也更加明显。

SOD 是生物抗氧化酶类的重要成员, 它能够清除生物氧化过程中产生  $O_2^-$ , 是生物体有效清除活性氧的重要酶类之一, 被称为生物体抗氧化系统的第一道防线。本试验结果显示, PQQ 可显著提高蛋鸡机体的 SOD 活性, 其中 0.010 mg/(d·只) 组效果最佳。Zhang 等<sup>[18]</sup>报道, PQQ 可通过血脑屏障发挥其清除氧自由基作用, 从而调控组织中 SOD 含量, 抑制脂质过氧化反应, 改善代谢循环, 有效保护神经元, 这与本试验结果相符。

脂质过氧化是自由基诱导的链式反应, 自由基攻击不饱和脂肪酸发生过氧化作用形成脂质过氧化物, 最终降解成 MDA、烷烃等终末产物。MDA 是生物膜发生脂质过氧化的重要产物之一, 其含量可间接反映出细胞受损的程度。本试验结果表明, 蛋鸡饲料中添加 PQQ 极显著地降低了蛋鸡体内的 MDA 含量, 这与 Hamagishi 等<sup>[19]</sup>的研究结果一致, 可见, 蛋鸡饲料中添加 PQQ 能够抑制蛋鸡体内脂质过氧化物的产生, 使机体免受脂质过氧化损伤, 且其浓度在 0.010 mg/(d·只) 时作用最强。

#### 3.3.2 PQQ 对蛋鸡自由基清除能力的影响

在生物体内, 90% 以上的氧分子在线粒体中

被消耗。从生物氧化反应的分子过程看,氧作为一种必需物质具有益害两重性。一方面,氧作为呼吸链的终端电子受体参与产生 ATP 的氧化磷酸化反应,是维持生命的重要能量代谢过程;另一方面,氧可通过一系列化学反应生成有害的氧自由基( $O_2^- \cdot$  和  $\cdot OH$ ),造成细胞损伤并导致疾病和衰老。过氧化物酶体增殖物激活受体  $\gamma$  共激活因子-1 $\alpha$ (PGC-1 $\alpha$ )是核基因的冷诱导共激活剂对线粒体生物合成和生物活性具有重要作用,PGC-1 $\alpha$ 还能够清除活性氧(ROS)保护线粒体<sup>[20]</sup>。本试验结果表明,蛋鸡饲料中添加 PQQ 能有效清除蛋鸡体内的  $O_2^- \cdot$  和  $\cdot OH$ ,这可能是由于 PQQ 促进了线粒体生物合成,增强了 PGC-1 $\alpha$  的活性<sup>[21]</sup>,从而提高了机体对氧的利用和对 ROS 的清除能力。

产蛋高峰期蛋鸡十分敏感,很容易受到各种环境应激因子的影响,从而造成产蛋率波动。本试验结果表明,饲料 PQQ 可显著改善蛋鸡机体抗氧化能力,有提高产蛋率的趋势,表明 PQQ 可能具有提升蛋鸡的抗应激的作用。PQQ 还可提高鸡蛋蛋白高度和哈氏单位,增加鸡蛋新鲜程度,延长货架期。本试验结果显示,机体内 2 种抗氧化酶(SOD 和 GSH-Px)在 0.010 mg/(d·只)组活性最强,MDA 含量最低,且机体清除 2 种自由基( $O_2^- \cdot$  和  $\cdot OH$ )的能力强,表明蛋鸡机体健康状况最佳,产蛋率最高,提示 0.010 mg/(d·只)为 PQQ 的最适添加量。

## 4 结 论

饲料中添加 PQQ 可一定程度上提高蛋鸡产蛋率和蛋品质,显著提高蛋鸡的抗氧化能力,其中以 0.010 mg/(d·只)效果为最佳。

## 参考文献:

- [ 1 ] KILLGORE J, SMIDT C, DUICH L, et al. Nutritional importance of pyrroloquinoline quinone [ J ]. Science, 1989, 245:850 - 852.
- [ 2 ] AIZENMAN E, HARTNETT K, ZHANG C, et al. Interaction of the putative essential nutrient pyrroloquinoline quinone with the N-methyl-D-aspartate receptor redox modulatory site [ J ]. Journal of Neuroophthalmology, 1992, 12:2362 - 2369.
- [ 3 ] BISHOP A, GALLOP PM, KAMOVSKY ML. Pyrroloquinoline quinone: a novel vitamin [ J ]. Nutrition Reviews, 1998, 56:287 - 293.
- [ 4 ] STEINBERG M, GERSHWIN M E, RUCKER R B. Dietary pyrroloquinoline quinone: growth and immune response in BALB/c mice [ J ]. Journal of Nutrition, 1994, 124:744 - 753.
- [ 5 ] KILLGORE J, SMIDT C, DUICH L, et al. Nutritional importance of pyrroloquinoline quinone [ J ]. Science, 1989, 245:850 - 852.
- [ 6 ] SMIDT C R, STEINBERG F M, RUCKER R B. Physiologic importance of pyrroloquinoline quinone [ J ]. Proceedings of the Society for Experimental Biology and Medicine, 1991, 197:19 - 26.
- [ 7 ] OUCHI A, NAKANO M, NAGAOKA S, et al. Kinetic study of the antioxidant activity of pyrroloquinolinequinone (PQQH(2)), a reduced form of pyrroloquinolinequinone in micellar solution [ J ]. Journal of Agriculture Food Chemistry, 2009, 57:450 - 456.
- [ 8 ] AKAIKE T, SATO K, KOHNO M, et al. PQQ as a generator and scavenger of oxygen radicals determination with ESR spectroscopy using a spin trap agent [ C ] // FUKUI T, KAGAMIYAMA H, SODA K, et al. Enzymes dependent on pyridoxal phosphate and other carbonyl compounds as cofactors. Pergamon Press: New York, 1991, 511 - 513.
- [ 9 ] NISHIGORI H, YASUNAGA M, MIZUMURA M, et al. Preventive effects of pyrroloquinoline quinone on formation of cataract and decline of lenticular and hepatic glutathione of developing chick embryo after glucocorticoid treatment [ J ]. Life Science, 1989, 45:593 - 598.
- [ 10 ] 卫秀英,李秀菊,朱坤华.吡咯喹啉醌对苹果花粉萌发和花粉管生长的影响 [ J ].植物生理学通讯, 2000,36(4):320 - 321.
- [ 11 ] AMEYAMA M, NAKASHIMA K, SHINAGAWA E, et al. Microbial production of pyrroloquinoline quinone [ J ]. Journal of Agricultural & Biological Chemistry, 1984, 48: 561 - 565.
- [ 12 ] YAMAGUCHI K, SASANO A, URAKAMI T, et al. Stimulation of nerve growth factor production by pyrroloquinoline quinone and its derivatives *in vitro* and *in vivo* [ J ]. Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry, 1993, 57:1231 - 1233.
- [ 13 ] CHOWANADISAI W, BAUERLY K, TCHAPARIAN E, et al. Pyrroloquinoline quinone stimulates mitochondrial biogenesis through cAMP response element-binding protein phosphorylation and increased PGC-1 $\alpha$  expression [ J ]. Journal of Biological

- Chemistry, 2010, 285: 142 – 152.
- [14] KASAHARA T, KATO T. Nutritional biochemistry: a new redox-cofactor vitamin for mammals [J]. *Nature*, 2003, 422:832.
- [15] STITES T, STORMS D, BAUERLY K, et al. Pyrroloquinoline quinone modulates mitochondrial quantity and function in mice [J]. *The Journal of Nutrition*, 2006, 136:390 – 396.
- [16] AUSTIC, R. E. Role of shell gland in determination of albumen quality [J]. *Poultry Science*, 1977, 56: 202 – 210.
- [17] SUGIOKA K, NAKANO M, NAITO L, et al. Properties of a coenzyme, pyrroloquinoline quinone; generation of an active oxygen species during a reduction-oxidation cycle in the presence of NAD(P)H and O<sub>2</sub> [J]. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 1988, 964:175 – 182.
- [18] ZHANG Y, FEUSTEL P J, KIMELBERG H K. Neuroprotection by pyrroloquinoline quinone (PQQ) in reversible middle cerebral artery occlusion in the adult rat [J]. *Brain Research*, 2006, 1094(1):200 – 206.
- [19] HAMAGISHI Y, MURATA S, KAMEI H, et al. New biological properties of pyrroloquinoline quinone and its related compounds; inhibition of chemiluminescence, lipid peroxidation and rat paw edema [J]. *Journal of Pharmacological and Experimental Therapeutics*, 1990, 255:980 – 985.
- [20] PUIGSERVER P. Tissue-specific regulation of metabolic pathways through the transcriptional coactivator PGC1-alpha [J]. *International Journal of Obesity (Lond)*, 2005, 29:S5 – S9.
- [21] MUOIO D M, KOVES T R. Skeletal muscle adaptation to fatty acid depends on coordinated actions of the PPARs and PGC-1alpha; implications for metabolic disease [J]. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolize*, 2007, 32:874 – 883.

## Effect of Dietary PQQ on Performance, Egg Quality and Antioxidant Function of Laying Hens

XU Lei<sup>1</sup> ZHANG Haijun<sup>1</sup> WU Shugeng<sup>1\*</sup> YUE Hongyuan<sup>1</sup> QI Guanghai<sup>1</sup> SUN Linlin<sup>2</sup>

(1. *Feed Research Institute, The Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China;*

2. *Life Science Research Center Co., Ltd. Shanghai Medical, Shanghai 200032, China)*

**Abstract:** The experiment was conducted to study the effects of dietary PQQ on performance, egg quality and antioxidant function of laying hens. Three hundred and seventy-eight healthy Hy-line laying hens of 50 week-old were randomly divided into 7 groups with 6 replicates per group and 9 hens per replicate. All the hens were fed basal diets supplemented with 0, 0.005, 0.010, 0.020, 0.040, 0.080, and 0.160 mg/(d · hen) PQQ, respectively. The experiment lasted for 6 weeks. The result showed that laying rate and egg quality of laying hens had a tendency to increase in the PQQ supplemental groups, and dietary PQQ increased albumen height and Haugh unit, but there was no significant difference among the 7 groups ( $P > 0.05$ ); the activities of GSH-Px and T-SOD in serum and livers of laying hens was significantly increased ( $P < 0.05$ ); the abilities of inhibiting superoxide anion and the hydroxyl radical were significantly increased ( $P < 0.05$ ); the content of MDA in serum and livers was significantly decreased compared with that in the control group ( $P < 0.05$ ). In conclusion, the supplementation of PQQ in the diet has the trend to increase the laying rate and egg quality in laying hens, and it can enhance the antioxidant function. The best level of PQQ is 0.010 mg/(d · hen). [*Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2011, 23(8):1370-1377]

**Key words:** PQQ; performance; egg quality; antioxidant function