

饲料中添加不同水平油菜花粉对蛋黄和鸡肉组织脂肪酸组成的影响

谢霖霖¹, 耿越^{1*}, 杨维仁², 胥保华²

(1. 山东师范大学生命科学学院 山东省动物抗性生物学重点实验室, 济南 250014;

2. 山东农业大学动物科技学院, 泰安 271018)

摘要: **目的** 分析饲料中添加不同水平油菜花粉对蛋黄和鸡肉组织脂肪酸组成的影响。**方法** 选用210日龄的海兰褐壳蛋鸡540只, 随机分为4组, 基础饲料中分别添加0%(A组)、3%(B组)、5%(C组)、8%(D组)的油菜花粉, 预饲1周后, 连续饲喂50 d后改喂基础饲料, 观察至第70 d。**结果** 实验前期(0~50 d)蛋黄中 ω -3PUFA、 α -ALA、DHA含量随着饲料中油菜花粉添加量的增加而增加, D组增加极显著($P < 0.01$)。蛋黄中 ω -6/ ω -3PUFA比值随着花粉添加量的增加而降低, 其中D组在第5 d至30 d降低极显著($P < 0.01$)。实验后期(50~70 d)蛋黄中 ω -3 PUFA、 α -ALA、DHA含量和 ω -6/ ω -3PUFA比值逐渐恢复至对照组水平。添加花粉对脑组织中脂肪酸组成无显著影响($P > 0.05$); 胸肌中 ω -3PUFA含量随着花粉添加量的增加而明显降低, 其中C组差异极显著($P < 0.01$), D组差异显著($P < 0.05$); 各花粉添加组鸡肝中 ω -3PUFA含量分别为1.96%、1.89%、3.11%和3.28%, D组差异极显著($P < 0.01$), 脂肪组织中 ω -3PUFA含量分别为1.61%、1.84%、1.86%、2.27%, D组差异显著($P < 0.05$)。**结论** 饲料中添加油菜花粉能够提高蛋黄、肝脏和脂肪组织中 ω -3PUFA的含量, 在3%、5%和8%三个花粉添加水平中以8%花粉添加水平效果最好。

关键词: 油菜花粉; 蛋黄; ω -3系多不饱和脂肪酸; 饲料

Effects of different levels of rape pollen in dietary on fatty acid composition in egg yolk and tissues of laying hens

XIE Lin-Lin¹, GENG Yue^{1*}, YANG Wei-Ren², XU Bao-Hua²

(1. Provincial Key Lab of Animal Resistant Biology, College of Life Science, Shandong Normal University, Jinan 250014, China; 2. College of Animal Science and Technology, Shandong Agriculture University, Taian 281018, China)

ABSTRACT: Objective To investigate the effects of dietary different levels of rape pollens on the fatty acid composition in egg yolk and tissue of laying hens. **Methods** 210 days old, five hundred and forty healthy Hy-Line variety brown hens which were in egg-laying peak were randomly allotted to four treatments, supplying with 0%(group A), 3%(group B), 5%(group C) and 8%(group D) rape pollens in basal diet respectively. The experiment lasted for 70 d included two phases, the first phase fed with basal diets and rape pollens (0~50 d) and the second phase fed with basal diets only (51~70 d) respectively. **Results** In the first stage (0~50 d), the

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项经费项目(200903006)、现代农业产业技术体系建设专项资金(CARS-45)

Fund: Supported by Special Fund for Agro-scientific Research in the Public Interest (200903006) and Earmarked Fund for Modern Agro-industry Technology Research System (CARS-45)

*通讯作者: 耿越, 教授, 主要研究方向为食品营养与功能因子。E-mail: gengy@sdnu.edu.cn

*Corresponding author: GENG Yue, Professor, College of Life Science, Provincial Key Lab of Animal Resistant Biology, Shandong Normal University, Jinan 250014, China. E-mail: gengy@sdnu.edu.cn

contents of ω -3PUFA, ALA and DHA in egg yolk increased with the increasing of dietary rape pollens. But the ratio of ω -6/ ω -3PUFA was exact opposite and group D had significant difference from 5 d to 30 d ($P < 0.01$). The content of ω -3PUFA, ALA and DHA in egg yolk and the ratio of ω -6/ ω -3PUFA returned to its original level in the second stage(51~70 d). Dietary different levels of rape pollens had no effect on the fatty acid composition in brain($P > 0.05$). The contents of ω -3PUFA in breast meat decreased with the increasing of dietary rape pollens. The contents of ω -3PUFA in chicken liver were 1.96%, 1.89%, 3.11% and 3.28% respectively. Group D increased significantly($P < 0.01$). The contents of ω -3PUFA in adipose tissue were 1.61%, 1.84%, 1.86% and 2.27% respectively. Group D increased significantly ($P < 0.05$). **Conclusion** Dietary rape pollens can increase the content of ω -3PUFA in egg yolk, liver and adipose tissue. The diet containing 8% of rape pollens showed the best effect among three dosages.

KEY WORDS: rape pollens; egg yolk; ω -3 polyunsaturated fatty acid; diet

膳食脂肪过量或饱和脂肪酸(saturated fatty acid, SFA)与多不饱和脂肪酸(polyunsaturated fatty acid, PUFA)比例失衡对多种慢性疾病的产生有重要影响。 ω -6/ ω -3PUFA的平衡对机体正常生长和内环境的稳定有重要作用,可以减少心血管疾病和其他慢性疾病的发生^[1]。WHO和FAO推荐 ω -6/ ω -3PUFA摄入比例为(5~10):1^[2]。将亚麻籽^[3]、鱼油^[4]等添加到饲料中,可以提高新鲜禽蛋、蛋制品中 ω -3PUFA含量并降低 ω -6/ ω -3PUFA比例。油菜花粉中多不饱和脂肪酸含量丰富,含有高比例的 ω -3脂肪酸- α -亚麻酸(α -linolenic acid, α -ALA),占总脂肪酸含量的48.51%^[5], SFA与PUFA比例合理,且 V_E 含量丰富,对于防止饲料及鸡蛋的过氧化,延长保质期都有积极意义。目前国内外禽蛋市场上尚未见到通过饲喂花粉而增加 ω -3PUFA含量的禽蛋问世。本实验旨在研究向蛋鸡饲料中添加未破壁的油菜花粉对蛋黄及蛋鸡组织中脂肪酸组成的影响,探索花粉利用的新途径及功能性蛋品的开发。

1 材料与方法

1.1 实验材料与试剂

1.1.1 实验材料

油菜花粉:由蜂产品商店购买的当年新鲜油菜花粉,镜检纯度 $\geq 95\%$ 。

1.1.2 仪器与试剂

GC-2014 气相色谱仪(日本岛津);脂肪酸标准品(47885-U, Sigma);正己烷和正庚烷为色谱纯(天津赛孚瑞公司);其他试剂均为分析纯(国药集团化学试剂有限公司)。

1.2 实验设计

选用 210 日龄的处于产蛋高峰期、体型基本一致、健康的海兰褐壳蛋鸡 540 只,随机分为 4 组,每组设 5 个重复。每个重复 27 只,每笼 3 只鸡,共 9 笼,采用 3 层立体鸡笼喂养。对照组饲喂基础饲料(A 组),实验组在基础饲料中分别添加 3%(B 组)、5%(C 组)和 8%(D 组)的油菜花粉。预饲 1 周后,连续饲喂 50 d,第 51 d 全部改喂基础饲料,至第 70 d 实验结束。饲料组成和营养水平见表 1。

1.3 饲养管理

采用半封闭式鸡舍,白天为自然光照,早晚辅以人工光照,每日恒定光照为 16 h (5:00 ~ 21:00)。根据蛋鸡的饲养规程饲喂,自由采食,自由饮水,鸡舍按照常规程序消毒。

1.4 样品采集

分别在第 0、5、10、15、20、30、40、50、60、70 d 每个重复随机取 2 枚鸡蛋,每组共计 10 枚鸡蛋,4 °C 贮存,24 h 内进行蛋黄中脂肪酸的提取和甲酯化。第 41 d 时,每个处理组随机取 5 只蛋鸡,分离鸡肝、鸡脑、胸肌和脂肪组织,-20 °C 贮存待测。

1.5 指标测定

1.5.1 油菜花粉和饲料中脂肪酸提取和甲酯化

索氏抽提法提取油菜花粉和饲料中的油脂。称取约 0.5 g 油脂,5 mL 正庚烷溶解,加入 2 mol/L 氢氧化钾甲醇溶液 0.25 mL,充分振荡摇匀,静置分层,取上清密封、避光、-20 °C 保存待气相检测。

1.5.2 蛋黄中脂肪酸的提取和甲酯化^[6]

称取蛋黄约 1.0 g,加入 2 mL 甲醇,3 mol/L 甲醇

盐酸溶液 6 mL, 90 ℃水浴 1 h。冷却后加入正己烷 3 mL, 0.88% NaCl 溶液 8 mL, 涡旋振荡使其充分混合均匀。4 ℃、5000 r/min 离心 10 min, 取上层有机相 -20 ℃保存待气相检测。

表 1 实验饲料组成及营养水平(%，风干基础)
Table 1 Ingredients and composition of diets
(%, air dry basis)

日粮组成	A	B	C	D
玉米	62.00	62.00	60.20	57.50
豆粕	19.00	18.00	17.50	16.70
麸皮	2.00	-	-	-
油菜花粉	-	3.00	5.00	8.00
豆油	3.00	3.00	3.30	3.80
石粉	9.00	9.00	9.00	9.00
预混料 ¹	5.00	5.00	5.00	5.00
合计	100.00	100.00	100.00	100.00
营养水平 ²				
代谢能 (MJ/kg)	11.88	11.89	11.86	11.84
粗蛋白质	15.70	15.60	15.70	15.80
Ca	3.59	3.59	3.58	3.57
总磷	0.52	0.49	0.48	0.47
NaCl	0.38	0.38	0.37	0.37
赖氨酸	0.80	0.76	0.74	0.71
蛋氨酸	0.35	0.35	0.34	0.33

注: 1: 每千克预混料含: V_A 245 000 IU, V_{K3} 91 mg, V_{B1} 45.5 mg, V_{D3} 85 000 IU, V_E 600 mg, V_{B2} 175 mg, 烟酸 620 mg, Cu 80 mg, Mn 1600 mg, Ca 3%~5%, NaCl 5%~9%, 植酸酶 6000 FTU, 水分 ≤ 10%, 泛酸钙 160 mg, Fe 740 mg, Zn 800 mg, P ≥ 1.5%, 粗蛋白质 ≥ 28%, 蛋氨酸 ≥ 2.6%, 载体为鱼粉, 抗氧化剂为 BHT。
2: 基础日粮中粗蛋白质、钙、总磷为实测值, 其余为计算值。

1.5.3 蛋鸡不同组织预处理

鸡肝中脂肪提取和甲酯化同 1.5.1。其他组织先匀浆, 组织匀浆按照 1.5.2 的方法进行脂肪酸的提取和甲酯化。

1.5.4 气相色谱测定条件

色谱柱: KB-1701 毛细管色谱柱 50 m×0.32 mm×0.25 μm; 程序升温: 起始温度 50 ℃, 保持 3 min, 20 ℃/min 升至 110 ℃, 4 ℃/min 升至 240 ℃, 保持 17 min; 载气: 氮气(N₂), 柱流量 3 mL/min, 分流比: 50: 1; 检测器: FID 检测器; 进样口温度: 250 ℃; 检测器温度: 280 ℃; 进样量: 1 μL。

1.5.5 统计分析

根据标样的保留时间定性, 面积归一化法计算每种脂肪酸的相对百分含量, 数据用 $\bar{x} \pm SD$ 表示。用 SPSS 18.0 软件的 One-way ANOVA 程序进行单因素方差分析, LSD 法进行组间差异显著性检验。

2 实验结果

2.1 油菜花粉和饲料中脂肪酸分析

油菜花粉粗脂肪含量为 9.08%, α -ALA 含量达 54.19%。四组饲料中 α -ALA 含量分别为 2.43%、2.98%、4.18%和 5.55%, EPA(eicosapentaenoic acid, C20:5)和 DHA(docosahexaenoic acid, C22:6)未检出, ω -6/ ω -3PUFA 比值分别为 15.78、12.36、10.36 和 6.71。

2.2 蛋黄脂肪酸气相色谱分析

图 1 为第 40 d 时 D 组蛋黄脂肪酸的气相色谱图, 主要由软脂酸(C16:0), 油酸(C18:0), 亚油酸(C18:2, n=6)和硬脂酸(C18:0)为主组成。

2.3 饲料中添加油菜花粉对蛋黄中脂肪酸组成的影响

2.3.1 蛋黄中 α -ALA 随时间的变化趋势

实验前期(0~50 d), 同期各组蛋黄中 α -ALA 含量随着花粉添加量的增加呈增加趋势。与实验开始比较, 第 10 d 各花粉添加组蛋黄中 α -ALA 含量逐渐增至最高值, B、C、D 组分别提高了 51.61%、61.29%和 103.23%, 之后 α -ALA 含量趋于稳定。实验后期(50~70 d), α -ALA 总的变化趋势是下降, C、D 组在第 60 d 时仍具有较高水平, 说明饲料中添加花粉对蛋黄中 α -ALA 含量的影响有一定的滞后作用, 见表 2。

2.3.2 蛋黄中 DHA 随时间的变化趋势

实验前期(0~50 d), 蛋黄中 DHA 含量随着饲料中花粉添加量的增加而增加, 且 D 组与对照组比较差异极显著($P < 0.01$), 同期 B、C 组与对照组比较不全具有显著性差异。随着时间的延长, 花粉添加组蛋黄中 DHA 含量逐渐增加, 在第 15~20 d 达到平稳水平, B、C、D 组蛋黄中 DHA 含量对应在第 20 d、40 d 和 30 d 分别提高了 19.31%、24.30%、34.89%。第 50 d 停止饲喂花粉后 DHA 含量明显下降, 逐渐降低至 0 d 时水平。总体来看, 蛋黄中 DHA 与 α -ALA 变化趋势基本一致, 见表 3。

2.3.3 蛋黄中 ω -3PUFA 随时间的变化趋势

花粉添加期间(0~50 d), 同期各组蛋黄中 ω -3PUFA

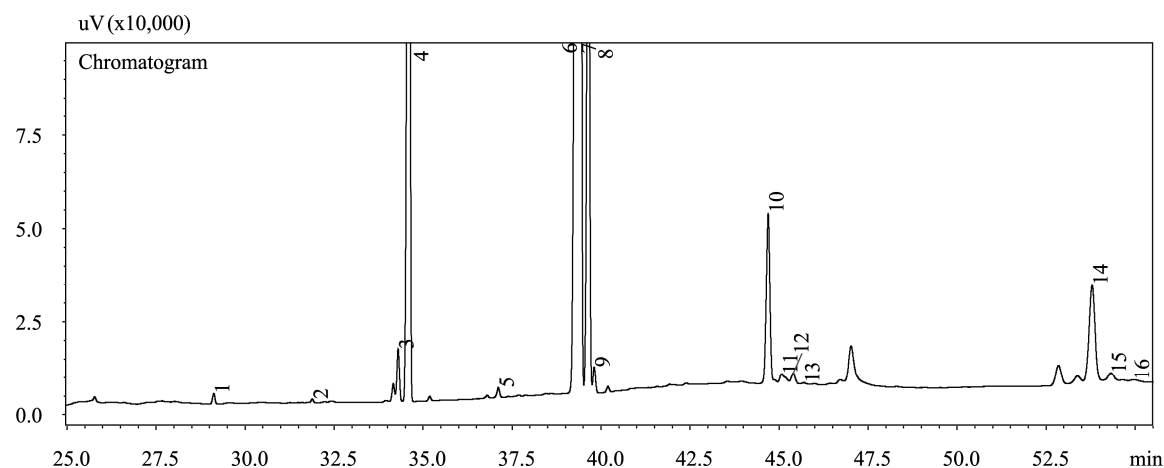


图 1 第 40 d 时 D 组蛋黄样品脂肪酸组成气相色谱图

Fig. 1 Chromatogram of fatty acids of the egg yolk of the group D on the fortieth day

1.C14:0 2.C14:1 3.C16:1 4.C16:0 5.C17:0 6.C18:1 7.C18:2 8.C18:0
9.C18:3 10.C20:4 11.C20:1 12.C20:2 13.C20:0 14.C22:6 15.C22:1 16.C22:0

表 2 蛋黄中α-ALA 含量随时间的变化 (%*, n=10)

Table 2 Change on the content of α-ALA in egg yolk (%*, n=10)

时间/天	组别			
	A	B	C	D
0	0.31±0.07	0.31±0.07	0.31±0.07	0.31±0.07
5	0.47±0.18	0.44±0.07	0.43±0.08	0.48±0.09
10	0.40±0.04 ^{Aa}	0.47±0.04 ^{ABab}	0.50±0.09 ^{Bb}	0.63±0.08 ^{Cc}
15	0.38±0.05 ^{Aa}	0.42±0.04 ^{ABab}	0.47±0.07 ^{Bb}	0.56±0.07 ^{Cc}
20	0.34±0.03 ^{Aa}	0.42±0.05 ^{Bb}	0.44±0.07 ^{BCbc}	0.55±0.07 ^{Dd}
30	0.38±0.05 ^{Aa}	0.42±0.06 ^{ABa}	0.47±0.07 ^{Bab}	0.50±0.09 ^{Bb}
40	0.44±0.03	0.46±0.09	0.46±0.06	0.47±0.07
50	0.36±0.05 ^{Aa}	0.43±0.05 ^{ABb}	0.45±0.05 ^{Bbc}	0.51±0.11 ^{Bc}
60	0.45±0.06 ^{ABab}	0.42±0.03 ^{Aa}	0.51±0.10 ^{ABbc}	0.52±0.10 ^{Bc}
70	0.41±0.07	0.40±0.03	0.39±0.07	0.40±0.05

*以占总脂肪酸的相对百分含量计，下表同。
注：同行数据肩标不同大写字母表示差异极显著($P < 0.01$)，不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)，有相同字母或无字母表示差异不显著($P > 0.05$)。下表同。

表 3 蛋黄中 DHA 含量随时间的变化(%，n=10)

Table 3 Changes on the content of DHA in egg yolk (%，n=10)

时间/天	组别			
	A	B	C	D
0	3.21±0.33	3.21±0.33	3.21±0.33	3.21±0.33
5	3.31±0.42 ^{Aa}	3.61±0.60 ^{ABab}	3.64±0.54 ^{ABab}	4.01±0.38 ^{Bb}
10	3.46±0.33 ^{Aa}	3.75±0.25 ^{ABa}	3.79±0.47 ^{ABa}	4.19±0.44 ^{Bb}
15	3.62±0.26 ^{Aa}	3.79±0.48 ^{ABab}	3.76±0.24 ^{ABa}	4.09±0.33 ^{Bb}
20	3.64±0.33 ^{Aa}	3.83±0.43 ^{Aa}	3.81±0.26 ^{Aa}	4.31±0.35 ^{Bb}
30	3.66±0.22 ^{Aa}	3.73±0.21 ^{Aa}	3.83±0.23 ^{Aa}	4.33±0.31 ^{Bb}
40	3.31±0.20 ^{Aa}	3.62±0.33 ^{Ab}	3.99±0.30 ^{Bb}	4.15±0.36 ^{Bb}
50	3.10±0.28 ^{Aa}	3.18±0.44 ^{BCa}	3.63±0.44 ^{BCc}	4.01±0.38 ^{Bb}
60	3.10±0.23 ^{Aa}	3.28±0.45 ^{ABab}	3.47±0.30 ^{ABb}	3.71±0.34 ^{Bb}
70	3.02±0.18	3.11±0.24	3.08±0.35	3.00±0.17

含量随饲料中花粉添加量的增加而增加, D 组与对照组比较均差异极显著 ($P < 0.01$)。随着时间延长 ω -3PUFA 在蛋黄中的沉积量逐渐增加, 大约在第 20 d 时达到最高值, B、C、D 组分别增加了 20.74%、21.02%和 38.07%。第 50 d 停止饲喂花粉后 ω -3PUFA 含量逐渐降至低于 0 d 时水平, 见表 4 和图 2。

2.3.4 蛋黄中 ω -6/ ω -3PUFA 比值随时间的变化趋势
花粉添加期间(0~50 d), 随着花粉添加量的增加 ω -6/ ω -3PUFA 比值明显降低, D 组与对照组比较均差异极显著 ($P < 0.01$)。随着时间的延长 ω -6/ ω -3PUFA 比值逐渐降低, 大约在第 40 d 时降至最低, C 组降低

幅度最大, 从 6.36 降至 4.82。40~50 d, 各组 ω -6/ ω -3PUFA 有所升高, 第 50 d 停止饲喂花粉后, ω -6/ ω -3PUFA 比值逐渐升高, 实验结束时高于第 0 d 时水平, 见表 5 和图 3。

2.4 蛋鸡不同组织脂肪酸组成测定

各组鸡肝中油脂含量经索氏提取法测定结果分别为 5.75%、7.52%、4.41%和 4.83%, 其中 C 组降低极显著 ($P < 0.01$)。添加油菜花粉对鸡肝中 PUFA 组成有显著影响, 8%添加量时 DHA 含量达到最高, 较对照组增加 74.84%。随着花粉添加量的增加, ω -6/ ω -3PUFA

表 4 蛋黄中 ω -3PUFA 含量随时间的变化(% , $n=10$)
Table 4 Changes of the content of ω -3PUFA in egg yolk (% , $n=10$)

时间/天	组别			
	A	B	C	D
0	3.52±0.33	3.52±0.33	3.52±0.33	3.52±0.33
5	3.78±0.43 ^{Aa}	4.05±0.59 ^{ABab}	4.07±0.51 ^{ABab}	4.49±0.42 ^{Bb}
10	3.86±0.34 ^{Aa}	4.21±0.26 ^{Aab}	4.29±0.48 ^{Ab}	4.82±0.45 ^{Bb}
15	4.00±0.28 ^{Aa}	4.22±0.49 ^{Aa}	4.23±0.26 ^{ABa}	4.65±0.31 ^{Bb}
20	3.98±0.34 ^{Aa}	4.25±0.42 ^{Aa}	4.26±0.28 ^{Aa}	4.86±0.39 ^{Bb}
30	4.05±0.23 ^{Aa}	4.15±0.24 ^{Aab}	4.30±0.25 ^{Ab}	4.83±0.34 ^{Bb}
40	3.75±0.19 ^{Aa}	4.08±0.28 ^{Ab}	4.45±0.27 ^{Bb}	4.62±0.36 ^{Bb}
50	3.46±0.31 ^{Aa}	3.61±0.42 ^{Aa}	4.08±0.46 ^{Ba}	4.52±0.30 ^{Bb}
60	3.55±0.23 ^{Aa}	3.70±0.44 ^{Aab}	3.98±0.33 ^{ABb}	4.23±0.38 ^{Bb}
70	3.43±0.14	3.51±0.24	3.47±0.35	3.40±0.14

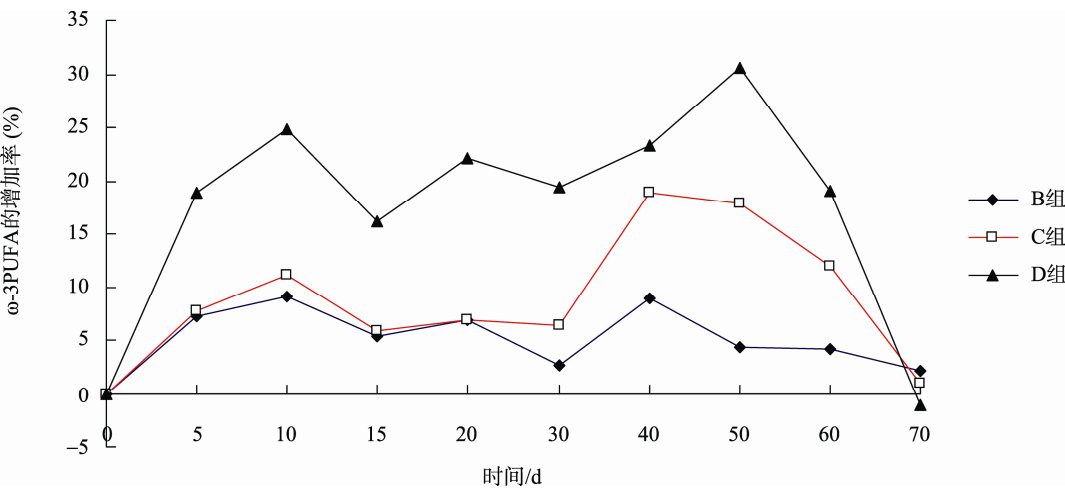


图 2 花粉添加组蛋黄中 ω -3PUFA 的增加率

Fig. 2 The increasing rate of ω -3PUFA in egg yolk among rape pollens dietary groups
注: ω -3PUFA 增加率(%)=(花粉添加组 ω -3PUFA 含量-对照组 ω -3PUFA 含量)/对照组 ω -3PUFA 含量 $\times 100\%$

表 5 蛋黄中 ω -6/ ω -3PUFA 比值随时间的变化($n=10$)
Table 5 Change on the ratio of ω -6/ ω -3PUFA in egg yolk ($n=10$)

时间/天	组别			
	A	B	C	D
0	6.36±0.67	6.36±0.67	6.36±0.67	6.36±0.67
5	6.36±0.60 ^{Aa}	5.88±0.81 ^{ABab}	5.64±0.73 ^{ABb}	5.36±0.51 ^{Bb}
10	6.00±0.54 ^{Aa}	5.51±0.21 ^{ABb}	5.42±0.62 ^{ABbc}	5.02±0.44 ^{Bc}
15	5.94±0.43 ^{Aa}	5.49±0.57 ^{ABb}	5.50±0.36 ^{ABb}	5.00±0.36 ^{Bc}
20	5.73±0.50 ^{Aa}	5.54±0.61 ^{ABa}	5.51±0.49 ^{ABa}	4.93±0.42 ^{Bb}
30	5.75±0.30 ^{Aa}	5.54±0.28 ^{Aab}	5.42±0.34 ^{Ab}	4.86±0.34 ^{Bb}
40	6.10±0.46 ^{Aa}	5.28±0.73 ^{Bb}	4.82±0.58 ^{Bb}	4.91±0.53 ^{Bb}
50	6.70±0.78 ^{Aa}	6.40±0.65 ^{ACa}	5.68±0.68 ^{BCc}	5.01±0.54 ^{Bb}
60	6.80±0.49 ^{Aa}	6.28±0.78 ^{ABb}	5.82±0.41 ^{Bab}	5.62±0.46 ^{Ba}
70	6.82±0.45	6.53±0.30	6.74±0.78	6.83±0.43

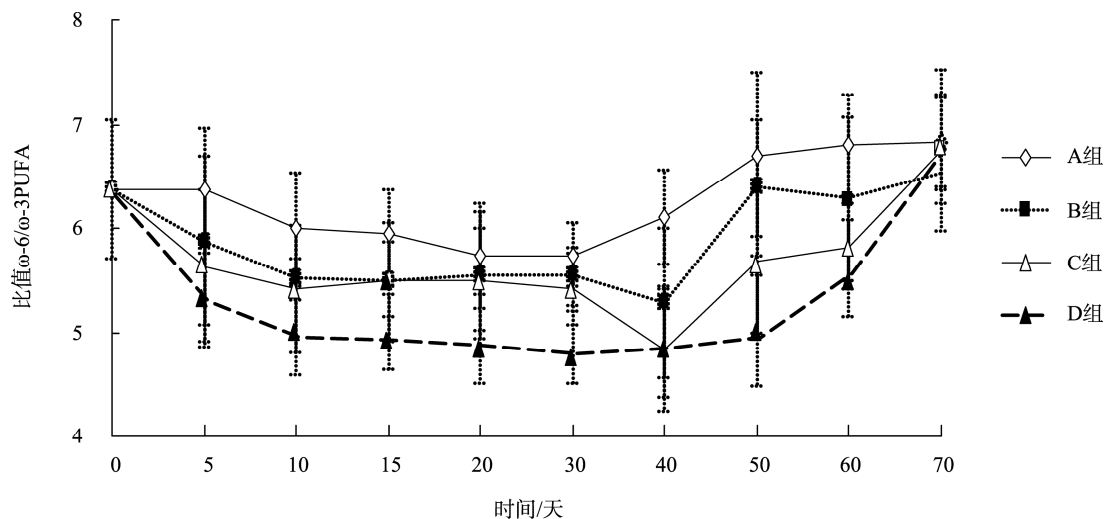


图 3 各组蛋黄中 ω -6/ ω -3PUFA 比值随时间变化趋势
Fig. 3 Changes on the ratios of ω -6/ ω -3PUFA in egg yolk

比值明显降低。与对照组比较, B 组花生四烯酸 (arachidonic acid, AA)含量降低但无显著性差异, C、D 组分别提高了 42.7%和 51.2%, 且均差异显著($P < 0.05$); 鸡脑中脂肪酸各组间均无显著性差异($P > 0.05$); 随着花粉添加量的增加, 胸肌中 ω -3PUFA 含量降低, ω -6PUFA 含量和 ω -6/ ω -3PUFA 比值升高, 其中 C 组和 D 组与对照组比较差异极显著($P < 0.01$); 脂肪组织中 DHA 含量实验组略有升高, 但与对照组比较无显著性差异($P > 0.05$)。D 组鸡肝和脂肪组织中 ω -3PUFA 含量分别比对照组增加 67.35%和 40.99%, ω -6/ ω -3PUFA 的比值分别降至 7.50 和 10.76。实验结

果见表 6。

3 讨论

3.1 饲料中添加不同水平油菜花粉对蛋黄脂肪酸组成的影响

蛋黄中的 ω -3PUFA 主要包括 α -ALA、EPA 和 DHA。蛋黄中 EPA 未检出, 有研究表明^[7]向饲料中添加富含 α -ALA 的植物性原料, EPA 转化为 DHA 的速度大于自身沉积速度, 导致 EPA 未检出或者只是痕量。实验前期(0~50 d), 蛋黄中 α -ALA 和 DHA 含量随饲料中花粉添加量的增加而增加, 蛋黄中 α -ALA

表 6 蛋鸡组织中脂肪酸组成的变化(% , n=5)
Table 6 Change on the fatty acid composition in tissue of laying hens (% , n=5)

项目	脂肪酸	分组			
		A	B	C	D
鸡肝	C18:3 α -ALA	0.40±0.10 ^a	0.69 ±0.27 ^b	0.53±0.06 ^{ab}	0.57±0.13 ^{ab}
	C20:4 AA	3.89±0.82ABa	2.98 ±1.45Aa	5.55±1.04Bb	5.88±1.39Bb
	C22:6 DHA	1.55±0.34 ^{Aa}	1.21 ±0.56 ^{Aa}	2.58±0.55 ^{Bb}	2.71±0.26 ^{Bb}
	ω -3PUFA	1.96±0.27 ^{Aa}	1.89 ±0.80 ^{Aa}	3.11±0.56 ^{Bb}	3.28±0.35 ^{Bb}
	ω -6PUFA	19.44±0.61 ^{ac}	19.07 ±5.77 ^a	24.24±2.53 ^{bc}	24.58±3.44 ^b
	ω -6/ ω -3PUFA	10.11±1.61 ^{ACa}	10.48 ±1.39 ^{Aa}	7.91±0.92 ^{BCb}	7.50±0.80 ^{Bb}
鸡脑	C18:3 α -ALA	0.31±0.10	0.28±0.04	0.31±0.10	0.41±0.24
	C20:4 AA	9.69±0.59	9.87±0.66	9.87±1.25	9.03±0.94
	C22:6 DHA	9.36±0.63	10.11±0.95	9.41±1.12	9.32±1.23
	ω -3PUFA	9.67±0.59	10.39±0.96	9.71±1.09	9.65±1.15
	ω -6PUFA	22.49±0.62	21.58±0.52	22.12±0.70	21.71±1.42
	ω -6/ ω -3PUFA	2.33±0.14	2.10±0.25	2.30±0.31	2.29±0.38
胸肌	C18:3 α -ALA	0.75±0.14	0.68±0.05	NF	NF
	C20:4 AA	9.77±0.99	8.73±0.19	8.9±1.08	10.46±2.24
	C22:6 DHA	3.14±0.25 ^{Aa}	3.03±0.22 ^{Aa}	2.27±0.26 ^{Bb}	2.74±0.49 ^{Aba}
	ω -3PUFA	3.89±0.39 ^{Aa}	3.71±0.27 ^{Aa}	2.27±0.26 ^{Bb}	2.74±0.49 ^{Bb}
	ω -6PUFA	26.93±0.82 ^{Aa}	26.40±0.56 ^{Aa}	37.20±0.90 ^{Bb}	37.07±2.31 ^{Bb}
	ω -6/ ω -3PUFA	6.97±0.54 ^{Aa}	7.14±0.54 ^{Aa}	16.59±1.96 ^{Ba}	13.88±2.68 ^{Bb}
脂肪组织	C18:3 α -ALA	1.24±0.21 ^{Aa}	1.46±0.37 ^{ABab}	1.34±0.13 ^{ABa}	1.77±0.24 ^{Bb}
	C20:4 AA	0.76±0.36	0.77±0.23	1.00±0.24	1.00±0.15
	C22:6 DHA	0.37±0.19	0.38±0.10	0.52±0.14	0.50±0.10
	ω -3PUFA	1.61±0.17 ^{Aa}	1.84±0.37 ^{ABa}	1.86±0.19 ^{ABa}	2.27±0.30 ^{Bb}
	ω -6PUFA	20.84±1.68 ^{Aa}	22.71±1.98 ^{ABab}	22.41±1.07 ^{ABab}	24.13±0.81 ^{Bb}
	ω -6/ ω -3PUFA	12.96±0.81 ^a	12.61±2.06 ^{ab}	12.15±0.95 ^{ab}	10.76±1.51 ^b

注: NF=no found

含量在第 10 d 升至最高值并趋于平稳, 而 DHA 含量大约在第 20 d 时达到高峰。杨彩霞等向饲料中添加富含 α -ALA 的胡麻油, 饲料中 α -ALA 水平从 0.12% 提高到 3.50%, 蛋黄中 α -ALA 沉积量直线增加, 相应地从 0.50% 提高到 5.69%, 14 d 后 DHA 的转化达到稳定, 胡麻油添加量越高, DHA 含量达到最高值的时间越长^[8]。夏中生在饲料中添加油脂对蛋鸡脂肪酸组成的影响大致在饲料处理后第 10 d 达最大^[9]。这些时间上的差异可能与添加的富含 ω -3PUFA 的原料种类和脂肪酸组成不同有关。本实验添加油菜花粉后使饲料

中 α -ALA 含量从 2.43% 提高到 5.55%, 第 10 d 时 D 组蛋黄 α -ALA 含量最高, 仅 0.63%。饲料中的 α -ALA 可以直接沉积于蛋黄中, 沉积量低可能是由于添加的油菜花粉未破壁, 导致蛋鸡对油菜花粉中 α -ALA 的消化吸收率降低。

蛋黄中 ω -6/ ω -3PUFA 的比值随饲料中花粉添加量的增加而显著降低, D 组降低极显著 ($P < 0.01$)。WHO 推荐 ω -6/ ω -3PUFA 的比值为 (5~10):1; 美国人平均摄入的 ω -6/ ω -3PUFA 的比例约为 9.8:1 远远高于推荐摄入量 2.3:1^[10]; 《中国居民膳食营养素参考摄

入量》中提出 ω -6/ ω -3PUFA 适宜摄入比值为(4~6):1^[11]。本实验C组和D组蛋黄中 ω -6/ ω -3PUFA 比值均在(4~6):1之间,有助于调节人们膳食中 ω -6/ ω -3PUFA 的比例,促进人体健康。

第60 d时,C、D组蛋黄中 α -ALA 含量仍具有较高水平,DHA和 ω -3PUFA 含量与第50 d相比虽然有所降低但是仍然高于对照组水平($P < 0.05$), ω -6/ ω -3PUFA 比值与第50 d相比明显升高但仍低于对照组水平($P < 0.01$)。第70 d时,C、D组蛋黄中 α -ALA、DHA、 ω -3PUFA 和 ω -6/ ω -3PUFA 比值都恢复至对照组水平($P > 0.05$)。说明饲料中添加花粉对蛋黄中上述各因素的影响有一定的延后效应。

对照组 α -ALA、DHA、 ω -3PUFA 含量及 ω -6/ ω -3PUFA 比值随时间的浮动可能是由蛋鸡的日龄、产蛋期和外界环境因素等原因造成的。这种影响对实验组蛋鸡也会存在,但从图2可以看出去掉对照组的波动,各实验组的变化还是非常明显的。

3.2 饲料中添加不同水平油菜花粉对蛋鸡组织中脂肪酸组成的影响

鸡肝中 α -ALA、DHA和 ω -3PUFA 含量随着饲料中花粉添加量的增加呈增加趋势,与对照组比较D组分别提高42.50%、74.84%和67.35%,与陈继新^[12]等的研究结果基本相同。随着花粉添加量的增加,鸡肝中花生四烯酸(AA)含量显著增加($P < 0.05$),而杨彩霞等向饲料中添加富含 α -ALA 的胡麻油,随着饲料中 α -ALA 含量的增加,AA 含量显著降低($P < 0.05$)^[8],原因有待进一步研究。肝脏是家禽体内脂肪酸从头合成的主要场所,饲料中添加油菜花粉,改变了鸡肝中脂肪酸组成,并且没有造成油脂在肝脏中积累。各组鸡脑中脂肪酸含量均无显著性差异($P > 0.05$),脑组织脂肪酸组成的稳定性对维持其正常的生理功能至关重要^[13],汪鲲向饲料中添加不同水平的富含 α -ALA 的亚麻籽,肝脏 α -ALA 显著受饲料 α -ALA 水平的影响($P < 0.05$),鱼油添加水平对鸡脑组织中DHA水平基本没有影响,亚麻籽添加量高于10%才使得鸡脑组织中DHA略有提高,但是幅度非常小^[13]。随着饲料中花粉添加量增加,胸肌中 α -ALA、DHA 含量降低, ω -6/ ω -3PUFA 比值在C组达到 $16.59\% \pm 1.96\%$ 。前人的研究多以肉鸡为研究对象,饲喂富含 ω -3PUFA 脂肪酸的饲料能够显著提高胸肌或腿肌中 ω -3PUFA 含量($P < 0.05$),降低 ω -6/ ω -3PUFA 比值($P < 0.05$)^[14]。脂肪组织中 α -ALA

含量远高于肝脏、胸肌和鸡脑组织,表明饲料中 α -ALA 更容易在脂肪组织中沉积。与胸肌相比,脂肪组织更易受饲料中脂肪酸组成的影响,这是由于脂肪组织具有储存功能的结果^[13]。研究表明,随着花粉添加量的增加,不同组织中脂肪酸沉积规律不同,有待进一步深入研究。

很多研究表明,蜂花粉作为一种新型天然绿色食品饲料添加剂可以提高蛋鸡的生产性能^[15],改善蛋品质^[16],但是向饲料中添加花粉对蛋黄及蛋鸡组织中 ω -3PUFA 影响的研究还极少。本实验向饲料中添加未破壁的油菜花粉能显著提高蛋黄中 ω -3PUFA 含量,但是增加的绝对量并不大。在此实验中,花粉其他营养成分的影响如何,以及如何有效利用花粉来提高蛋黄中 ω -3PUFA 含量,降低使用成本,值得进一步深入研究。

4 结 论

向饲料中添加未破壁的油菜花粉,可以提高蛋黄中 ω -3PUFA、 α -ALA、DHA 含量,降低 ω -6/ ω -3 比值,在3%、5%和8%这三个花粉添加水平中以8%花粉添加水平效果最好。向饲料中添加油菜花粉可以改善蛋黄中脂肪酸组成,其中 ω -3PUFA 得到富集。鸡肝和脂肪组织中 ω -3PUFA 相对百分含量随着饲料中花粉添加量的增加而增加,而 ω -3PUFA 在脑和胸肌组织中没有沉积。

参考文献

- [1] Sioen I, Hacquebard M, Hick G, *et al.* Effect of ALA-enriched food supply on cardiovascular risk factors in males [J]. *Lipids*, 2009, 44(7): 603–611.
- [2] Sugano M, Hirahara F. Polyunsaturated fatty acids in the food chain in Japan [J]. *Am J Clin Nutr*, 2000, 71(1): 189–196.
- [3] 王利华, 霍贵成, 杨丽洁. 亚麻籽脂肪酸在蛋黄中的沉积效果 [J]. *中国饲料*, 2002, (12): 8–9, 11.
Wang LH, Huo GC, Yang LJ. Deposition effect of α -linolenic acid from flaxseed in egg yolk [J]. *China Feed* 2002, (12): 8–9, 11.
- [4] 马海滨. 日粮中添加不同油脂对鸡蛋不饱和脂肪酸含量和品质的影响[D]. 北京: 中国农业科学院, 2009.
Ma HB. Effect of dietary oil sources on egg quality and the content of polyunsaturated fatty acids of yolk [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2009.
- [5] 涂文利, 耿越, 张静静, 等. 八种花粉中脂肪酸组分分析[J]. *营养学报*, 2005, 27(4): 351–352.

- Tu WL, Geng Y, Zhang JJ, *et al.* Analysis of fatty acid composition of eight kinds of pollens [J]. *Acta Nutrimenta Sinica*, 2005, 27(4): 351–352.
- [6] Wang Y, Sunwoo H, Cherian G, *et al.* Fatty acid determination in chicken egg yolk: a comparison of different methods [J]. *Poultry Sci*, 2000, 79(8): 1168–1171.
- [7] 臧素敏, 李同洲, 何万红, 等. 日粮中添加紫苏籽对鸡蛋黄脂肪酸组成及 ω -3、 ω -6 影响的研究[J]. *河北农业大学学报*, 2003, 26(1): 65–68, 72.
- Zang SM, Li TZ, He WH, *et al.* The effects of *Perilla frutescens* seeds on fatty acid composition and ω -3, ω -6 of egg yolk [J]. *J Agric Univ Hebei*, 2003, 26(1): 65–68, 72.
- [8] 杨彩霞, 计成, 丁丽敏, 等. n-3 脂肪酸的代谢和日粮 α -亚麻酸强化鸡蛋的研究[J]. *中国农业大学学报*, 2000, 5(1): 117–122.
- Yang CX, Ji C, Ding LM, *et al.* n-3 Fatty acid metabolism and effects of α -linolenic acid on enriching n-3 FA eggs [J]. *J China Agric Univ*, 2000, 5(1): 117–122.
- [9] 夏中生. 产蛋鸡饲料中不同油脂对蛋黄脂质含量和脂肪酸组成的影响[J]. *西南农业学报*, 2000, 13(4): 84–89.
- Xia ZS. Effect of feeding different oils to laying hens on the lipid content and fatty acid composition in egg yolk [J]. *Southwest China J Agric Sci*, 2000, 13(4): 84–89.
- [10] Kris-Etherton PM, Taylor DS, Yu-Poth S, *et al.* Polyunsaturated fatty acids in the food chain in the United States [J]. *Am J Clin Nutr*, 2000, 71(1): 179S–188S.
- [11] 苏宜香, 郭艳. 膳食脂肪酸构成及适宜推荐比值的研究概况[J]. *中国油脂*, 2003, 28(1): 31–34.
- Su YX, Guo Y. A review of dietary fatty acid composition and recommended optimal ratio [J]. *China Oil Lipid*, 2003, 28(1): 31–34.
- [12] 陈继新, 卢洁, 夏中生, 等. 产蛋鸡日粮亚麻油水平对蛋黄脂肪组成及脂质代谢的影响[J]. *畜牧与兽医*, 2010, 42(6): 40–43.
- Chen JX, Lu J, Xia ZS, *et al.* Influences of high level linolenic acid on lipid content in egg yolk and lipid metabolism in laying hens [J]. *Anim Husbandry Vet Med*, 2010, 42(6): 40–43.
- [13] 汪鲲. n-3 多不饱和脂肪酸在蛋黄和组织中的富集规律及其对产蛋鸡脂类代谢的影响[D]. 北京: 中国农业科学院, 2000.
- Wang K. Enrichment of n-3 polyunsaturated fatty acid in egg yolk and tissues and its effect on lipid metabolism in laying hens [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2000.
- [14] 齐珂珂, 赵桂苹, 陈继兰, 等. 日粮 ω -6/ ω -3 对爱拔益加肉仔鸡肉品质、血液脂质指标及脂肪酸组成的影响[J]. *动物营养学报*, 2009, 21(4): 525–533.
- Qi KK, Zhao GP, Chen JL, *et al.* Effect of dietary ω -6/ ω -3 on meat quality, serum lipid and fatty acid profiles of arbor acres briolers [J]. *Chin J Anim Nutr*, 2009, 21(4): 525–533.
- [15] 柳卫国, 姚银邦, 张兴远, 等. 蜂花粉对蛋鸡生产性能的影响[J]. *粮食与饲料工业*, 2007, (4): 37–38.
- Liu WG, Yao YB, Zhang XY, *et al.* Influences of bee pollen on the production of laying hens [J]. *Cereal Feed Ind*, 2007, (4): 37–38.
- [16] 王珏, 郑艺梅, 吴炜, 等. 日粮添加蜂花粉对蛋品质的影响[J]. *安徽科技学院学报*, 2007, 21(6): 1–4.
- Wang Y, Zheng YM, Wu W, *et al.* Influences of bee pollen in diet on the egg quality [J]. *J Anhui Sci Technol Univ*, 2007, 21(6): 1–4.

(责任编辑: 杨翠娜)

作者简介



谢霖霖, 硕士, 主要研究方向为食品营养与食品功能因子。
E-mail: w3fattyacids@163.com



耿越, 教授, 主要研究方向为食品营养与功能因子。
E-mail: gengy@sdnu.edu.cn