

n-3 脂肪酸的代谢和日粮 α -亚麻酸强化鸡蛋的研究

杨彩霞 计成 丁丽敏 戎易

(中国农业大学动物科技学院)

摘要 在产蛋鸡日粮中添加 0, 2%, 5% 和 8% 胡麻油, 对蛋黄和鸡肝脏的脂肪酸组成有显著影响: 蛋黄中的 α -亚麻酸直线增加, DHA 含量也呈增加趋势。肝脏中的 DHA 含量显著提高, 在日粮胡麻油添至 5% 时达最高。试验 14 d 后蛋黄中 DHA 和 EPA 的转化达到稳定, 随胡麻油添加量增加蛋黄中 DHA 达到稳定的时间越长。试验表明: α -亚麻酸在鸡肝脏中进行碳链延长和脱氢过程; 产蛋鸡可以将 α -亚麻酸优先转化成 DHA 沉积于蛋黄中; 日粮 α -亚麻酸含量以及给饲时间是影响合成 DHA 效率的 2 个重要因素。

关键词 n-3 脂肪酸; α -L nA; DHA; 鸡蛋; 蛋鸡

分类号 S829.1

n-3 Fatty Acid Metabolism and Effects of α -L inolenic Acid on Enriching n-3 FA Eggs

Yang Caixia Ji Cheng Ding L in in Rong Yi

(College of Animal Sciences and Technology, CAU)

Abstract Effectiveness of α -linolenic acid to enrich DHA and EPA in egg yolk was studied. Ninety six laying hens were fed four diets supplemented with 0, 2%, 5% or 8% linseed oil for six weeks. The fatty acid composition of egg yolks and liver were changed significantly: DHA content in hen egg yolk supplemented with 2%, 5% and 8% linseed oil increased by 1.5, 2.2 and 1.8 times respectively, resulting in a decrease of n-6/n-3 FA ratio ($P < 0.05$). Liver DHA content also increased ($P < 0.05$). Egg yolk DHA level reached constant after 14 days of treatment, more days were needed under higher levels of oil supplementation. This study showed that α -linolenic acid underwent a strong desaturation and elongation process in livers of laying hens, hens synthesized DHA and deposited prior to EPA in egg yolk, dietary linseed oil supplementation and feeding time are two important factors influencing the effectiveness.

Key words n-3 fatty acid; α -L nA; DHA; egg; laying hens

目前已有许多关于 n-3 脂肪酸强化食品的研究。通过日粮途径提高肉类中 n-3 不饱和脂肪酸, 由于产生肉质松软、具有鱼腥味等不良后果而受到限制。将鱼油中的长链 n-3 脂肪酸 EPA 和 DHA 直接沉积鸡蛋中^[1], 或用 n-3 脂肪酸的前体物 α -亚麻酸通过动物体内的生物转化途径^[2]合成 EPA 和 DHA 等长链 n-3 脂肪酸沉积在鸡蛋内, 可提高鸡蛋的营养价值。胡麻籽的含油量 33% ~ 52%, 其中 α -亚麻酸含量 12% 以上, C18: 3n-3 脂肪酸含量高达 30% ~ 50%

收稿日期: 1998-10-13

计成, 北京圆明园西路 2 号中国农业大学(西校区), 100094



(占总脂肪酸含量)。选用廉价的胡麻油作为 α -亚麻酸的来源,研究日粮 α -亚麻酸水平和给饲期对n-3脂肪酸在蛋鸡体内的转化代谢规律,由此确定使鸡蛋中n-3脂肪酸沉积达最大时的日粮 α -亚麻酸适宜添加量。

1 材料与方法

1.1 试验动物

随机选取体重相近(1.9 ± 0.6)kg、生产性能相同、体况良好的27周龄北京红鸡产蛋鸡96只,随机分为4个处理组,每组6个重复,每重复4只鸡。按常规饲养管理。

1.2 试验日粮

1个对照组,其日粮中不添加胡麻油(1组);3个试验组,其日粮中胡麻油添加量为2%(2组)、5%(3组)、8%(4组)(表1)。

表1 各处理日粮的脂肪酸组成

项 目	各处理组的胡麻油含量 w /%			
	1组(0)	2组(2%)	3组(5%)	4组(8%)
占日粮百分含量 w /%				
18:3(n-3)	0.12	0.30	1.90	3.50
占总脂肪酸百分含量 w /%				
18:2(n-6)	60.47	47.60	45.02	43.44
18:3(n-3)	4.65	10.54	15.60	17.92
18:2n-6/18:3n-3	13.00	4.52	2.89	2.42

1.3 检测指标及方法

检测产蛋量、蛋重、耗料量、饲料报酬。称重:体重、肝脏、脾脏、腹脂重。

蛋黄指标:蛋黄重、脂肪酸成分(有机碱法甲酯化,气相色谱分析)、脂质过氧化物丙二醛测定(硫代巴比妥酸比色法)

肝脏指标:粗脂肪、脂肪酸成分(气相色谱法)、脂质过氧化物(硫代巴比妥酸比色法)。

1.4 数据分析

试验结果采用SAS软件进行单因子方差分析和Duncan多元比较。

2 结果与讨论

2.1 日粮胡麻油含量对产蛋鸡生产性能、体重以及器官相对重量的影响

各组鸡产蛋率、蛋重、蛋黄重量之间差异不显著($P > 0.05$),说明日粮胡麻油添加水平对其无显著影响。5%和8%的胡麻油使饲料报酬得到显著改善,节约了饲料。

胡麻油的不同添加水平对产蛋鸡体重、腹脂率、肾脏重量均没有明显影响。但随着日粮中胡麻油添加比例的增加,产蛋鸡的肝脏重明显增加(表2)。

表 2 日粮不同胡麻油水平对产蛋鸡体重和器官相对重量的影响

项 目	各处理日粮添加胡麻油水平 w /%			
	1 组(0)	2 组(2%)	3 组(5%)	4 组(8%)
体重 m /g	2 092.00 ± 101.88 a	2 077.25 ± 109.55 a	2 046.00 ± 76.34 a	2 038.25 ± 133.78 a
腹脂率 w /%	1.27 ± 0.02 a	1.46 ± 0.22 a	1.44 ± 0.08 a	1.42 ± 0.14 a
肝脏重占体重 w /%	0.76 ± 0.40 c	1.88 ± 0.17 b	2.57 ± 0.45 a	2.52 ± 0.22 a
肾脏重占体重 w /%	0.50 ± 0.04 a	0.51 ± 0.07 a	0.54 ± 0.08 a	0.56 ± 0.05 a

注: 同行中无相同字母表示差异显著 ($P < 0.05$), 以下同。

2.2 日粮胡麻油含量对鸡蛋蛋黄中脂肪酸组成的影响

本试验发现, 与对照组相比, 当产蛋鸡日粮中以胡麻油为 n-3 脂肪酸来源时, 蛋黄中的 n-3 脂肪酸含量包括 C18: 3n-3, EPA (C20: 5n-3) 和 DHA (C22: 6) 均呈非线性提高, 由此证明, α -亚麻酸可以在蛋鸡体内转化为长链 n-3 脂肪酸 EPA 和 DHA, 并可以在蛋黄得到富集 (表 3), 与 Cherian (1991)^[4] 和 Caston (1990)^[5] 等人的研究结果一致。

表 3 日粮不同胡麻油水平对鸡蛋蛋黄中脂肪酸相对含量的影响

脂肪酸名称	处理日粮添加胡麻油水平 w /%			
	1 组(0)	2 组(2%)	3 组(5%)	4 组(8%)
18: 0	10.64 ± 0.19 b	23.11 ± 1.21 a	22.52 ± 1.16 a	21.14 ± 1.99 a
18: 1(n-9)	40.16 ± 3.43 a	24.63 ± 1.06 b	20.75 ± 0.78 c	21.37 ± 0.23 c
18: 2(n-6)	15.02 ± 2.2 d	18.80 ± 0.62 c	22.27 ± 0.43 b	25.16 ± 1.06 a
20: 4(n-6)	1.04 ± 0.15 b	1.68 ± 0.17 a	1.54 ± 0.11 a	1.51 ± 0.09 a
18: 3(n-3)	0.50 ± 0.04 d	2.40 ± 0.22 c	4.08 ± 0.30 b	5.69 ± 0.46 a
20: 5(n-3)	0 ± 0 a	0.01 ± 0.01 a	0.02 ± 0.01 a	0.00 ± 0.01 a
22: 6(n-3)	1.12 ± 0.10 c	1.99 ± 0.14 b	2.33 ± 0.17 a	2.10 ± 0.17 ab
Σ n-6 FA	16.06 ± 2.2 d	20.48 ± 0.59 c	23.80 ± 0.53 b	26.67 ± 1.10 a
Σ n-3 FA	1.61 ± 0.12 d	4.40 ± 0.24 c	6.43 ± 0.41 b	7.80 ± 0.46 a
Σ n-6/ Σ n-3 FA	9.92 ± 0.64 a	4.66 ± 0.13 b	3.71 ± 0.20 c	3.42 ± 0.08 c

表中相对含量为占总脂肪酸的质量分数。

蛋黄脂肪酸中随日粮的改变变化最大的是 18 碳族, 包括 C18: 0, C18: 2 和 C18: 3 及其转化产物 C18: 1, C20: 4, C22: 6(DHA)。随着日粮中 C18: 0 水平的提高, 其转化物 C18: 1 在蛋黄中含量显著降低; 但随着蛋黄中 C18: 3 水平的提高, 其转化物 C22: 6 水平则显著升高, 但 C22: 6/C18: 3 比值以 2.2, 0.8, 0.6, 0.4 的趋势降低。由于 C18: 2 和 C18: 3 转化生成各自的代谢产物都要通过 Δ^6 脱氢酶途径脱氢, 因此 C18: 2 和 C18: 3 这 2 种脂肪酸转化过程存在着竞争。Cherian 等^[2] 和 Garg^[4] 指出: 日粮中 C18: 2 和 C18: 3 水平升高会抑制 C18: 0 向 C18: 1 的转化过程, 并认为, C18: 0 向 C18: 1 的转化是经过 Δ^9 脱氢酶途径, 而多不饱和脂肪酸能够抑制 Δ^9 脱氢酶活性从而抑制了该转化过程。

本试验结果证明: 日粮添加胡麻油对蛋黄中脂肪酸的组成有显著影响, 尤其是特异性地抑制长链 n-6 族脂肪酸的转化, 提高长链 n-3 族脂肪酸 DHA 的含量和总体 n-3 族脂肪酸水平。即通过在日粮中增加 C18: 3 族脂肪酸水平, 可以使蛋黄中 C18: 3 向 C22: 6(DHA) 的转化达到

最大。

表4 日粮不同胡麻油水平对鸡蛋蛋黄中 n-3 不饱和脂肪酸含量的影响 $w/\%$

脂肪酸名称	处理日粮添加胡麻油水平 $w/\%$			
	1组(0%)	2组(2%)	3组(5%)	4组(8%)
18:3(n-3)	0.14 ± 0.01 d	0.64 ± 0.01 c	1.20 ± 0.06 b	1.706 ± 0.13 a
22:6(n-3)	0.14 ± 0.01 c	0.35 ± 0.04 b	0.45 ± 0.051a	0.39 ± 0.03 ab
Σ n-3 FA	0.28 ± 0.01 d	0.99 ± 0.03 c	1.64 ± 0.10 b	2.08 ± 0.14 a

脂肪酸占蛋黄的质量分数。

从表4的结果,以 n-3 族脂肪酸占鸡蛋蛋黄的百分含量分析:随日粮添加胡麻油含量的上升,可使蛋黄中的 C18:3 族(α -亚麻酸)呈直上升趋势,DHA (C22:6)含量随日粮添加胡麻油水平的提高而增加。这种增加趋势是呈非直线性递增趋势,在 5% 胡麻油日粮组,蛋黄 DHA 含量达到最大值。

蛋黄脂肪酸的组成随日粮胡麻油添加水平的提高而呈上升趋势。经回归分析检验,日粮中的 α -亚麻酸与蛋黄中的 n-3 族脂肪酸、n-6 族脂肪酸含量之间存在着强相关,其回归方程如下:

蛋黄 C18:3n-3 含量(Y)与日粮 C18:3n-3(X)水平之间的预测方程:

$$Y = -0.07X^2 + 0.66X + 0.24 \quad r = 0.97$$

蛋黄 C22:6n-3 含量(Y)与日粮 C18:3n-3(X)水平之间的预测方程:

$$Y = -0.06X^2 + 0.32X + 0.19 \quad r = 0.82$$

蛋黄 n-3 脂肪酸含量(Y)与日粮 C18:3n-3(X)水平之间的预测方程:

$$Y = -0.13X^2 + 0.91X + 0.43 \quad r = 0.95$$

由此证明,蛋黄中主要存在的 n-3 族脂肪酸含量可以通过日粮中的 α -亚麻酸水平来预测。

2.3 日粮胡麻油含量和给饲期对蛋黄脂肪酸组成的影响

由不同时期蛋黄中的脂肪酸成分分析结果可以发现(图1):

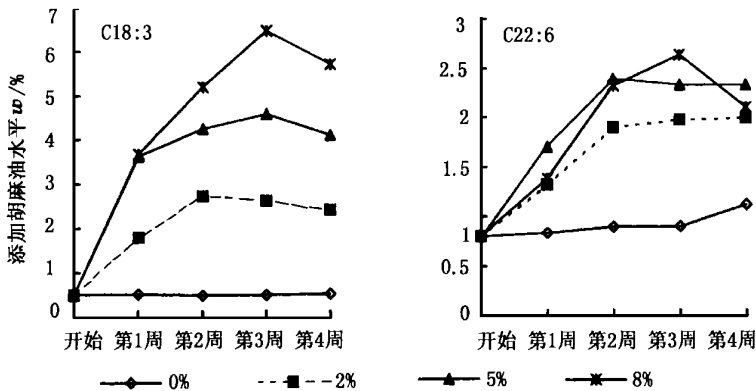


图1 不同的胡麻油水平和给饲期对蛋黄脂肪酸组成的影响

随着添加胡麻油时间的延长,蛋黄脂肪酸呈规律性变化:C18:2,C18:3,C22:6的含量

呈增加趋势; C18: 1, C20: 4 的含量呈减少趋势。这种变化趋势又因日粮胡麻油含量提高而更明显。

日粮中可以直接沉积于蛋黄中的脂肪酸如 C18: 2 和 C18: 3 随胡麻油含量的增加而增加, 其转化产物的变化有明显的限度: 在添加胡麻油后的 14 d 左右, 5% 添加油组的 C20: 4 的水平降低到最低, C22: 6 (DHA) 增加到最高, 其它组蛋黄中的 C20: 4 达到最低限和 C22: 6 达到最高限的时间略有不同。胡麻油添加量越高, 达到 C20: 4 最低值和 C22: 6 最高值的时间也越长。Sim 和 Maurice^[6]的试验发现, 蛋黄脂肪酸达到平衡需 12 d 左右, 与本试验的结果一致。而齐广海^[7]认为, 除 C20: 4 需 16 d 外, 其余脂肪酸均可在饲喂 8 d 时达到稳定。Lin^[8]发现, 当产蛋鸡采食高水平的 n-3 脂肪酸日粮后一个月蛋黄脂肪酸才达到稳定。这些时间上的差异很可能是由日粮中脂肪酸含量的差异造成的。

2.4 日粮胡麻油含量对鸡肝脏脂肪酸组成的影响

试验结果表明, 添加胡麻油对肝脏中的不饱和脂肪酸组成有显著影响: 在添加 5% 胡麻油时 C18: 2 水平达到最高, 肝脏中不含有或仅有微量的检测不出的 C18: 3。

对长链不饱和脂肪酸的影响: n-6 族脂肪酸 C20: 4 水平随胡麻油的添加呈下降趋势, C20: 4/C18: 2 比值也从对照组约 0.8, 分别降低为 0.5, 0.4, 0.3; n-3 族脂肪酸 C20: 5 水平只是添加和不添加胡麻油时差异显著, 添加 2% 油组比对照组升高了 6 倍, 但继续增加胡麻油则对其无影响; C22: 6 随胡麻油添加水平的提高呈上升趋势, 至添加 5% 时达到最大并保持稳定; n-6/n-3 脂肪酸比值在添加 2% 组比对照组降低, 继续提高胡麻油添加量该比值不再降低。

表 5 日粮不同胡麻油水平对蛋鸡肝脏脂肪酸含量的影响

脂肪酸名称	处理日粮添加胡麻油水平 w /%			
	1 组(0)	2 组(2%)	3 组(5%)	4 组(8%)
18: 2(n-6)	18.78 ± 0.54 c	20.27 ± 0.44 b	21.73 ± 0.36 a	21.93 ± 0.51 a
20: 4(n-6)	14.45 ± 0.87 a	10.00 ± 1.07 b	8.51 ± 1.20 c	7.00 ± 0.41 d
20: 5(n-3)	0.06 ± 0.12 b	0.42 ± 0.06 a	0.59 ± 0.27 a	0.49 ± 0.07 a
22: 6(n-3)	4.65 ± 0.95 b	5.85 ± 0.50 b	7.91 ± 0.47 a	7.84 ± 0.54 a
Σ n-6 FA	33.23 ± 0.69 a	30.27 ± 1.07 b	30.24 ± 0.94 b	28.89 ± 0.78 b
Σ n-3 FA	4.71 ± 0.87 c	6.26 ± 0.51 b	8.50 ± 0.45 a	8.33 ± 0.59 a
Σ n-6/ Σ n-3 FA	7.22 ± 1.21 a	4.87 ± 0.57 b	3.56 ± 0.19 b	3.48 ± 0.22 b
22: 6(n-3) 绝对量	0.31 ± 0.02 c	0.33 ± 0.01 c	0.52 ± 0.06 b	0.60 ± 0.01 b

脂肪酸占总脂肪的质量分数。

Naber 等(1989)^[9]通过(1-¹⁴C)乙酸盐同位素示踪试验发现, 脂类在产蛋鸡肝脏中的合成模式与鸡蛋蛋黄中脂类的沉积模式十分相似。本试验也发现产蛋鸡肝脏脂肪酸组成与蛋黄脂肪酸组成相似, 随日粮胡麻油含量的变化两者有着相似的变化趋势, 但也存在着一些差别: 肝脏中不含或仅含有微量的 C18: 3; 肝脏脂肪酸组成中变化最大的是 C18: 2 和 C18: 3 以及其转化产物 C20: 4, C22: 6, 变化趋势与蛋黄中相应脂肪酸的变化一致, 但其变化幅度较小; 肝脏中的 C20: 5 含量较高。由此可以看出, 肝脏和蛋黄的脂肪酸组成各有特点, 这种特点与其各自的生理机能有关。鸡肝脏是其体内脂肪代谢的主要器官, 脂类在此合成再运输到体内各器官发挥作用。蛋黄作为胚胎发育的唯一营养供给体, 其所含的各类营养物质丰富且数量充足, 大脑是胚胎期发育最早且发育最完善的器官, 大脑中的 DHA 含量较高且稳定, 不随日粮脂肪

酸成分的变化而变化^[10],为了保证其大脑的早期发育中对高含量的DHA的需要,鸡体内很可能存在着自我调节机制从而使鸡蛋蛋黄中可以优先沉积大量的DHA。

2.5 日粮胡麻油含量对产蛋鸡肝脏和蛋黄脂质过氧化物水平的影响

试验结果发现,添加胡麻油对鸡肝脏脂质过氧化物的产生有显著影响($P < 0.05$),且与其他组相比,胡麻油添加量达8%时对鸡蛋蛋黄脂质过氧化物的产生有显著影响:添加8%胡麻油组的肝脏脂质过氧化物水平比其它组升高了46%。

表6 日粮胡麻油含量对蛋鸡肝脏和鸡蛋蛋黄中的脂质过氧化物(LPO)水平的影响

项目	处理日粮添加胡麻油水平 $w/\%$			
	1组(0)	2组(2%)	3组(5%)	4组(8%)
肝脏	900.99 ± 18.28 c	1118.53 ± 25.79 b	1272.79 ± 32.42 a	1285.59 ± 40.65 a
鸡蛋蛋黄	21.03 ± 1.02 b	21.48 ± 0.89 b	23.99 ± 1.17 b	34.98 ± 2.18 a

$b/\text{nmol} \cdot \text{g}^{-1}$

本试验发现日粮中的不饱和脂肪酸增加时,产蛋鸡肝脏内以及蛋黄中的脂质过氧化物增多,Kuratko^[7]和L'Abbe^[8]的试验中也发现了同样现象。齐广海^[10]发现,日粮中添加较多的VE可以抑制蛋黄脂质过氧化物的产生。说明日粮中必须添加足够量的抗氧化剂才能保证蛋黄中脂肪酸的稳定性。

参 考 文 献

- 1 Caston L, Leeson S. Research Note: Dietary flax and egg composition. *Poultry Sci*, 1990, 69: 1617~1620
- 2 Cherian G, Sim J S. Effect of feeding full fat flax and canola seeds to laying hens on fatty acid composition of eggs, embryos, and newly hatched chicks. *Poul Sci*, 1991, 70: 917~ 922
- 3 Farrell D J, Sim J S, Nakai S. The fortification of hens eggs with omega3 long chain fatty acids and their effect in humans. *Egg uses and processing technologies: new developments* 1994, 35: 386~ 401
- 4 Garg M L, Sebokova E, Thomason A B R, Clandinin M A T. Δ^6 desaturase activity in liver microsomes of rats fed diets enriched with cholesterol and/or ω 3 fatty acids. *Biochem J*, 1988, 249: 351~ 356
- 5 Hargis PS, Van Elswyk M E. Manipulating the fatty acid composition of poultry meat and eggs for the health conscious consumer. *World's Poultry Sci J*, 1993, 49: 251~ 264
- 6 Huang ZB, Leibovitz H L, Lee CM, Millar R. Effect of dietary fish oil on ω 3 fatty acid levels in chicken eggs and thigh flesh. *J Agric food Chem*, 1990, 38: 743~ 747
- 7 Kuratko C N, Tsai S Y, Pence B. Effects of dietary fat and 1, 2-dimethylhydrazine on microsomal lipid peroxidation. *J Nutr Biochem*, 1994, 5: 78~ 83
- 8 L'Abbe M R, Trick K D, Beare-Rogers J L. Dietary (n-3) fatty acids affect rat heart, liver and aorta protective enzyme activities and lipid peroxidation. *J Nutr*, 1991, 121: 1331~ 1340
- 9 Naber E C. The effect of nutrition on the composition of eggs. *Poultry Sci*, 1979, 58: 518~ 528
- 10 齐广海. 生育酚在脂肪酸调控机体中的代谢及其对产品的作用: [博士学位论文]. 中国农业科学院, 1996
- 11 向荣. 过氧化脂质硫代巴比妥酸分光光度法的改进. *生物化学与生物物理进展*, 1990, 17(3): 241~ 243