

日粮成分对鸡蛋色度及 碳稳定同位素比值的影响

王慧文¹, 孙丰梅²

(1. 河北北方学院动物科技学院, 河北 张家口 075131;

2. 河北北方学院食品科学系, 河北 张家口 075131)

摘要:通过测定鸡蛋蛋黄的 RCF 值,说明人工色素和天然色素都可以改变蛋黄的色度,但是通过稳定同位素比值质谱分析发现,鸡蛋中稳定同位素 $\delta^{13}\text{C}$ 值仅受日粮中玉米含量的影响,而与加丽素红的添加量无关,据此可以推断蛋黄中色素的来源,从而对蛋鸡生产起到监管作用。本实验选用 320 只产蛋鸡,分成人工色素组和天然色素组,每组又分成 4 个实验小组,每个小组做 4 次重复实验,分别用添加加丽素红的基础日粮和玉米含量不同的基础日粮饲喂 63 天。采集各组饲料样品,并在实验期的第 28 天和第 56 天采集鸡蛋样品,分别测定饲料的稳定同位素 $\delta^{13}\text{C}$ 值和蛋黄的 RCF 值及 $\delta^{13}\text{C}$ 值。结果表明:人工色素组,添加或撤除加丽素红,蛋黄的 RCF 值有极显著变化($P < 0.01$),但蛋黄中的 $\delta^{13}\text{C}$ 值差异不显著($P > 0.05$);天然色素组,随着日粮中玉米含量的增加或降低,蛋黄的 RCF 值及 $\delta^{13}\text{C}$ 值均有极显著差异($P < 0.01$),且蛋黄中 $\delta^{13}\text{C}$ 值与日粮中玉米含量呈显著正相关($P < 0.05$),说明蛋黄中 $\delta^{13}\text{C}$ 值主要受日粮中玉米含量的影响。因此,蛋鸡日粮的主要成分决定了鸡蛋蛋黄中碳稳定同位素的组成。

关键词:日粮;鸡蛋;稳定同位素质谱; $\delta^{13}\text{C}$ 值

中图分类号:O657.63

文献标志码:A

文章编号:1004-2997(2015)05-0467-07

doi:10.7538/zpzb.2015.36.05.0467

Influence of Ration Ingredient on Chromaticity and Stable Carbon Isotope Composition in Eggs

WANG Hui-wen¹, SUN Feng-mei²

(1. College of Animal Science and Technology, Hebei North University, Zhangjiakou 075131, China;

2. Department of Food Science, Hebei North University, Zhangjiakou 075131, China)

Abstract: The egg chromaticity could be changed by artificial pigment and natural pigment through determining the yolk RCF values, but the stable carbon isotope ($\delta^{13}\text{C}$) ratios of eggs were influenced by maize content in ration only and had nothing to do with the carophyll red. So, the origin of pigment in egg could be deduced, which could supervise and manage the laying hens production. 320 hens were selected and assigned

收稿日期:2015-01-15;修回日期:2015-03-31

基金项目:河北北方学院创新人才培育项目(CXRC1311)资助

作者简介:王慧文(1973—),女,河北康保人,高级实验师,从事饲料安全检测研究。E-mail: wanghuiwen04@163.com

通信作者:孙丰梅(1977—),女,河北新乐人,副教授,从事食品安全检测技术研究。E-mail: shiliu0616@163.com

to 2 groups, one was called artificial pigment group, the other was called natural pigment group. Each group included 4 treatments with 4 replicates, then fed on basic diets added different quantity of carophyll red and basic diets with different contents of maize respectively for 63 days. The feed samples were collected at first, then the egg samples were collected on the 28th day and the 56th day of trial period. The $\delta^{13}\text{C}$ values of ration, and the RCF values and the $\delta^{13}\text{C}$ values of eggs were determined. The results show that the RCF values of yolks have remarkable changes ($P < 0.01$) with adding or removing carophyll red in artificial pigment group, but the $\delta^{13}\text{C}$ values of yolks have no significant difference ($P > 0.05$). In natural pigment groups, both the RCF values and the $\delta^{13}\text{C}$ values of yolks have remarkable difference ($P < 0.01$) with the increasing or decreasing of maize content in ration. Meanwhile, the $\delta^{13}\text{C}$ values of yolks and the maize content in ration are significantly correlated ($P < 0.05$). It states the $\delta^{13}\text{C}$ values in yolks are mainly influenced by maize content of ration. So, the $\delta^{13}\text{C}$ values of yolks are determined by the main ingredients of ration. The study lays a theoretical foundation for the application of stable isotope analysis technique in egg pigment traceability.

Key words: ration; egg; stable isotope mass spectrometry; $\delta^{13}\text{C}$ values

鸡蛋因具有较高的营养价值深受人们喜爱。近年来,随着生活水平的提高,消费者对鸡蛋的品质要求也越来越高,因此,市场上“无公害鸡蛋”、“绿色鸡蛋”、“土鸡蛋”等品种应运而生。但是,如何鉴别这些鸡蛋的真伪成为消费者关注的问题。

加丽素红是一种人工合成的色素,在蛋鸡日粮中添加该色素,可以显著改善蛋黄的色度。目前,有些养殖者在蛋鸡日粮中非法添加加丽素红,并声称蛋黄的颜色是由于饲喂玉米含量高的饲料导致的。稳定同位素作为一种示踪物,广泛用于动植物相互关系研究中,动物组织中同位素的组成能真实地反映一段时期内的饲料来源信息。据报道,稳定同位素比值质谱法能鉴别不同奶源^[1];能通过牛羊组织中碳、氮稳定同位素组成追溯其产地^[2-4];另外,该技术还广泛应用于蜂蜜、果汁、葡萄酒、油脂等产品的掺假鉴别^[5-8]。但至今还未见使用该技术追溯鸡蛋中色素来源的报道。因为鸡蛋中的色素几乎全部沉积在蛋黄中,故可通过测定蛋黄中 $\delta^{13}\text{C}$ 值判断其色素的来源。

本研究拟通过稳定同位素比值质谱法测定蛋鸡日粮和蛋黄的 $\delta^{13}\text{C}$ 值,以确定蛋鸡饲料和蛋黄中 $\delta^{13}\text{C}$ 的关系,为鉴别不同来源的鸡蛋提供理论依据,同时对规范蛋鸡生产起到监督作用。

1 实验部分

1.1 仪器与试剂

Flash 2000 型元素分析仪, Thermo Delta V 同位素质谱仪;美国 Thermo-Fisher 公司产品;加丽素红(有效成分为 10% 的角黄素):瑞士罗氏公司产品。

1.2 实验设计及分组

选用 320 只 360 日龄健康且产蛋率无显著差异的京红 1 号蛋鸡,随机分为两大组,其中一组为人工色素组,另一组为天然色素组。将每一大组再分为 4 个小组,每个小组做 4 次重复实验,每次重复 10 只鸡,预试期 7 d,正试期 56 d。正试期分为前期(1~4 周)和后期(5~8 周)。人工色素组前期第 1 组(对照组)饲喂基础日粮,第 2、3、4 组分别在基础日粮中(含黄玉米 30%)添加加丽素红,添加量分别为 15、30、60 mg/kg,后期各组均撤除加丽素红继续饲喂。天然色素第 5、6、7、8 组前期的黄玉米在日粮中的含量分别为 10%、30%、50%、70%,后期第 5 组和第 8 组的日粮互换,第 6 组和第 7 组的日粮保持不变。

1.3 实验日粮和饲养管理

实验日粮参照美国 NRC 饲养标准,配制玉米-豆粕-鱼粉型基础日粮,具体日粮配方组成和实验日粮的营养水平列于表 1。实验前,鸡舍充分冲洗和严格消毒,鸡舍内温度、湿

表 1 日粮配方及营养水平
Table 1 Composition and nutrient level of ration

成分/%	组别		天然色素组							
	人工色素组		5组		6组		7组		8组	
	前期	后期								
黄玉米	30.00	30.00	10.00	70.00	30.00	30.00	50.00	50.00	70.00	10.00
次粉	37.70	37.70	63.20	0.00	37.70	37.70	12.22	12.22	0.00	63.20
小麦麸	3.78	3.78	1.48	0.00	3.78	3.78	5.98	5.98	0.00	1.48
大豆粕	14.90	14.90	11.65	13.21	14.90	14.90	18.18	18.18	13.21	11.65
鱼粉(秘鲁)	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50
石粉	8.38	8.38	8.29	8.07	8.38	8.38	8.39	8.39	8.07	8.29
磷酸氢钙	1.29	1.29	1.43	1.74	1.29	1.29	1.27	1.27	1.74	1.43
赖氨酸	0.00	0.00	0.00	2.94	0.00	0.00	0.00	0.00	2.94	0.00
蛋氨酸	0.15	0.15	0.15	0.24	0.15	0.15	0.16	0.16	0.24	0.15
食盐	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
预混料	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
代谢能(MJ/kg)	11.08	11.08	11.08	11.79	11.08	11.08	11.08	11.08	11.79	11.08
粗蛋白	16.5	16.5	16.5	14.95	16.5	16.5	16.5	16.5	14.95	16.5
钙	3.50	3.50	3.50	3.49	3.50	3.50	3.50	3.50	3.49	3.50
总磷	0.66	0.66	0.73	0.61	0.66	0.66	0.60	0.60	0.61	0.73
有效磷	0.33	0.33	0.33	0.43	0.33	0.33	0.35	0.35	0.43	0.33
赖氨酸	0.78	0.78	0.77	0.73	0.78	0.78	0.78	0.78	0.73	0.77
蛋氨酸	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36

度、光照和饲养密度依据常规要求而定。实验鸡采用笼养,人工投料,实验期间鸡群自由采食、饮水和光照。鸡群按正常免疫程序进行免疫,饲养期间,及时淘汰病鸡,捡出死鸡。

1.4 样品采集和前处理

在正试期第 28 天和第 56 天,分别取每个实验小组 3 枚鸡蛋进行前处理。具体方法为:将鸡蛋去壳,分离蛋清和蛋黄,用罗氏比色扇测定蛋黄色度(用 RCF 值表示),并记录数据;然后用氯仿-甲醇改良法^[9]提取其中的脂肪,剩余部分在研钵中研碎放入自封袋,于冰箱中冷冻保存;取每组前、后期的饲料样品分别研碎,过孔径为 0.149 mm 的滤筛,然后转移至自封袋,于冰箱中冷冻保存,待分析。

1.5 样品分析方法

取 0.20 mg 样品,用锡箔杯包装好后通过自动采样器送入元素分析仪,在此,样品中的碳元素定量地转化为 CO₂,然后通过气相色谱柱分离出来,进入同位素质谱仪测定其 δ¹³C 值。计算公式为:

$$\delta^{13}\text{C}\text{‰} = 1000 \times (R_{\text{样品}} - R_{\text{标准}}) / R_{\text{标准}}$$

式中:R_{样品}为样品中同位素丰度比(¹³C/¹²C);R_{标准}为标准品中同位素丰度比(¹³C/¹²C);C 采用 PDB 作为标准。

1.6 数据分析和处理

实验数据采用 SPSS19.0 软件进行单因素方差分析,LSD 法进行组间差异显著性检验,数据以(平均数±标准差)表示,并用 Excel 函数统计方法做相关数据分析。

2 结果与讨论

2.1 日粮对蛋黄 RCF 值的影响

人工色素组和天然色素组的 RCF 值列于表 2。从表 2 可以看出,在实验前期,人工色素组随着加丽素红添加量的增加,蛋黄的 RCF 值显著增加,各实验组与对照组比较,差异非常显著($P < 0.01$),且各实验组之间差异也比较显著($P < 0.05$)。这主要是由于加丽素红是一种着色剂,它可以增加蛋黄的色度。实验后期,因为各实验组日粮中撤除了加丽素红,所以各组的 RCF 值均下降,且 3 个实验组趋于一致,但均略高于对照组。这可能是由于实验前期加丽素红的影响还没有完全消除,说明了加丽素红在鸡体内的代谢较慢,对蛋黄色度产生的影响

在短期内难以完全消除。

对于天然色素组,实验前期随着日粮中玉米含量的增加,RCF 值也显著增加($P < 0.01$),这主要是由于玉米富含以玉米黄素、叶黄素为主的类胡萝卜素,它的吸收为物理性扩散,吸收量的多少与摄入量相关,因此日粮中玉米含量越高,蛋黄色度越深。实验后期,当第 5 组和第 8 组的日粮调换后,RCF 值也相应地显著提高或降低,第 6 组和第 7 组由于日粮没有改变,前期和后期的 RCF 值未发生显著变化,但各组间差异仍然很显著($P < 0.01$)。由此可见,蛋黄颜色的深浅主要取决于日粮中黄玉米含量的高低,当日粮中黄玉米含量低时,适量添加外源性色素可以显著加深蛋黄颜色。

表 2 人工色素组和天然色素组 RCF 值的比较

Table 2 Comparison of RCF values between artificial pigment groups and natural groups

组别	人工色素组 RCF 值		组别	天然色素组 RCF 值	
	前期	后期		前期	后期
第 1 组	4.50±1.00 ^A	4.80±0.76	第 5 组	3.00±0.82 ^A	10.75±0.50 ^A
第 2 组	8.25±0.96 ^B	5.13±0.83	第 6 组	5.00±0.82 ^B	5.50±1.00 ^B
第 3 组	12.50±1.00 ^C	5.38±1.06	第 7 组	8.75±0.50 ^C	9.00±0.82 ^C
第 4 组	14.00±0.82 ^C	5.25±0.89	第 8 组	10.50±0.58 ^D	3.00±0.82 ^D

注:相同字母或未标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($P < 0.01$),下同

2.2 日粮中 $\delta^{13}\text{C}$ 值的分析

人工色素组和天然色素组日粮中的 $\delta^{13}\text{C}$ 值列于表 3。从表 3 可以看出,人工色素组各组之间 $\delta^{13}\text{C}$ 值差异均不显著($P > 0.05$),且实验前期和后期也无显著差异($P > 0.05$),这说明加丽素红的添加与否对日粮 $\delta^{13}\text{C}$ 值无显著影响。

天然色素组各组之间 $\delta^{13}\text{C}$ 值差异非常显著($P < 0.01$),随着日粮中玉米含量的增加, $\delta^{13}\text{C}$ 值逐渐增加。第 5 组和第 8 组由于前期和后期日粮相互调换, $\delta^{13}\text{C}$ 值也有很显著的差异($P < 0.01$),而第 6 组和第 7 组由于日粮未发生变化,所以 $\delta^{13}\text{C}$ 值无显著差异($P > 0.05$)。这说明日粮中玉米含量是 $\delta^{13}\text{C}$ 值的决定性因素,少量其他成分对 $\delta^{13}\text{C}$ 值影响不大。出现这种结果主要是由于根据植物光合作用途径的不同,可以划分为 C_3 植物、 C_4 植物和 CAM 植物。

各类植物的 $\delta^{13}\text{C}$ 都有一定的规律: C_3 植物的 $\delta^{13}\text{C}$ 值约为 $-22\text{‰} \sim -30\text{‰}$, C_4 植物的 $\delta^{13}\text{C}$ 值约为 $-9\text{‰} \sim -14\text{‰}$,CAM 植物 $\delta^{13}\text{C}$ 值约为 $-10\text{‰} \sim -22\text{‰}$ 。玉米是 C_4 植物,其 $\delta^{13}\text{C}$ 值较高,因此日粮的 $\delta^{13}\text{C}$ 值随着玉米含量的增加而升高。

2.3 蛋黄中 $\delta^{13}\text{C}$ 值的分析

人工色素组和天然色素组蛋黄中的 $\delta^{13}\text{C}$ 值列于表 4。从表 4 可以看出,人工色素组实验前期蛋黄中 $\delta^{13}\text{C}$ 值无显著差异($P > 0.05$),且实验后期撤除加丽素红后, $\delta^{13}\text{C}$ 值较前期也无显著变化($P > 0.05$)。这说明加丽素红的添加虽然能改变蛋黄的 RCF 值,但并不能改变蛋黄的 $\delta^{13}\text{C}$ 值。

对于天然色素组,实验前期随着日粮中玉米含量的增加,蛋黄中 $\delta^{13}\text{C}$ 值也逐渐增加,且各组之间差异非常显著($P < 0.01$)。实验后

表3 人工色素组和天然色素组日粮中 $\delta^{13}\text{C}$ 值的比较

Table 3 Comparison of $\delta^{13}\text{C}$ values between artificial pigment groups and natural groups in ration

组别	人工色素组 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 值/ ‰		组别	天然色素组 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 值/ ‰	
	前期	后期		前期	后期
第1组	-20.86±0.52	-21.31±0.37	第5组	-22.39±0.11 ^D	-12.82±0.23 ^A
第2组	-20.19±0.78	-21.04±0.42	第6组	-21.75±0.15 ^C	-21.74±0.13 ^C
第3组	-21.41±0.54	-21.33±0.49	第7组	-18.40±0.28 ^B	-18.50±0.15 ^B
第4组	-21.27±0.27	-21.16±0.64	第8组	-12.88±0.30 ^A	-22.41±0.14 ^D

表4 人工色素组和天然色素组蛋黄中 $\delta^{13}\text{C}$ 值的比较

Table 4 Comparison of $\delta^{13}\text{C}$ values between artificial pigment groups and natural groups in yolk

组别	人工色素组 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 值/ ‰		组别	天然色素组 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 值/ ‰	
	前期	后期		前期	后期
第1组	-20.71±0.23	-20.86±0.12	第5组	-21.47±0.24 ^D	-15.97±0.043 ^A
第2组	-20.75±0.38	-20.61±0.26	第6组	-20.49±0.23 ^C	-20.06±0.30 ^C
第3组	-20.75±0.15	-20.63±0.29	第7组	-18.55±0.31 ^B	-18.49±0.30 ^B
第4组	-20.74±0.22	-20.77±0.19	第8组	-15.98±0.09 ^A	-21.51±0.22 ^D

期,由于第5组和第8组日粮互换,玉米含量骤增或骤减,对应的蛋黄中 $\delta^{13}\text{C}$ 值也出现极显著的增加或降低 ($P < 0.01$),这说明蛋黄中 $\delta^{13}\text{C}$ 值主要由日粮中玉米含量决定,植物同位素组成差异可以通过饮食传递给动物,并通过动物的代谢作用,使动物产品中同位素组成存在明显差异^[10]。由此可见,通过测定动物产品的 $\delta^{13}\text{C}$ 值可以推断动物饲料的主要成分,如Molkentin等^[11]报道利用 $\delta^{13}\text{C}$ 值鉴别传统牛奶和有机牛奶。

2.4 日粮成分与鸡蛋中 RCF 值、 $\delta^{13}\text{C}$ 值的关系
对比表2、3、4可以发现,人工色素组在实

验前期和后期分别添加和撤除加丽素红,蛋黄的 RCF 值均有极显著变化,但由于日粮中玉米含量始终保持 30%,蛋黄中 $\delta^{13}\text{C}$ 值始终无显著差别。人工色素组实验前期日粮中加丽素红添加量与蛋黄中 RCF 值、 $\delta^{13}\text{C}$ 值的回归分析示于图 1。可以看出,实验前期蛋黄 RCF 值与加丽素红添加量的回归系数呈高度正相关,拟合系数达 0.87 ($P < 0.05$),但是与 $\delta^{13}\text{C}$ 值的相关程度较低,拟合系数仅为 0.24。由此说明,日粮中黄玉米含量一定时,加丽素红添加量直接决定蛋黄的色度,但却与蛋黄中 $\delta^{13}\text{C}$ 值关系不大。

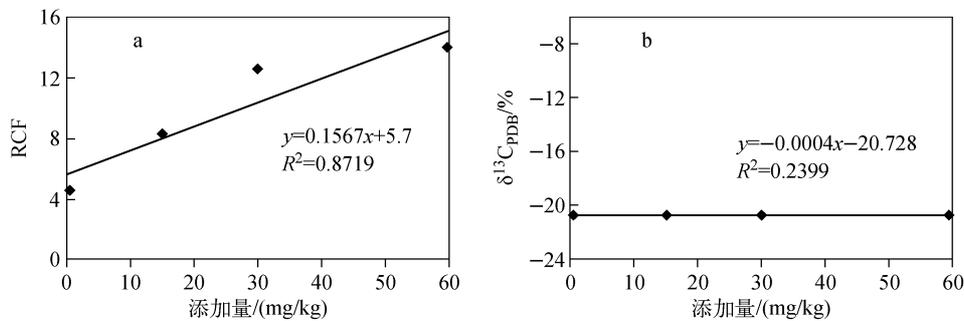


图1 人工色素组实验前期加丽素红添加量与蛋黄中 RCF 值(a)、 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 值(b)的回归分析

Fig.1 Regression analysis on RCF values (a), $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ values (b) in addition of carophyll red in yolk of artificial group during initial period

天然色素组实验前期日粮中的玉米含量由10%渐增至70%，蛋黄的RCF值显著增加， $\delta^{13}\text{C}$ 值也呈现明显增加的趋势。实验后期第5组和第8组日粮互换后，蛋黄RCF值与 $\delta^{13}\text{C}$ 值相应地发生显著变化；由于第6组和第7组日粮不变，蛋黄RCF值与 $\delta^{13}\text{C}$ 值也基本趋于恒定。天然色素组实验前期及后期日粮中玉米含量与蛋黄中RCF值和 $\delta^{13}\text{C}$ 值的回归分析分别示于图2、图3。从图中可以看出，无论是实验前期还是实验后期，蛋黄的RCF值及 $\delta^{13}\text{C}$ 值与日粮中玉米含量呈高度正相关，平均拟合系数分别达到0.98和0.97 ($P < 0.05$)。对比图1~3可以看出，在日粮中添加加丽素红和增加日粮中玉米的含量，虽然都能提高蛋黄的

RCF值，但蛋黄的 $\delta^{13}\text{C}$ 值并不随加丽素红的添加而升高，而只随玉米含量的增加而升高，说明日粮中玉米含量是 $\delta^{13}\text{C}$ 值的决定性因素。王磊等^[12]研究表明，以玉米为主要饲料的奶源地牛乳中 $\delta^{13}\text{C}$ 值均高于 -17.6‰ ，若饲料中含有羊草和苜蓿等 C_3 植物，会使牛乳中 $\delta^{13}\text{C}$ 值相对偏负。这说明动物源性食品中的同位素比值虽然受动物代谢过程中同位素分馏的影响，但主要还是由饮食决定，类似的结果在崔琳琳等^[13]的研究中也有报道，这些研究与本实验一起验证了动物产品中的碳稳定同位素组成直接受饲料成分的影响。因此，如果市场上鸡蛋的RCF值在8~10之间，但 $\delta^{13}\text{C}$ 值却负于 -20‰ ，就很可能在饲养日粮中添加了人工色素。

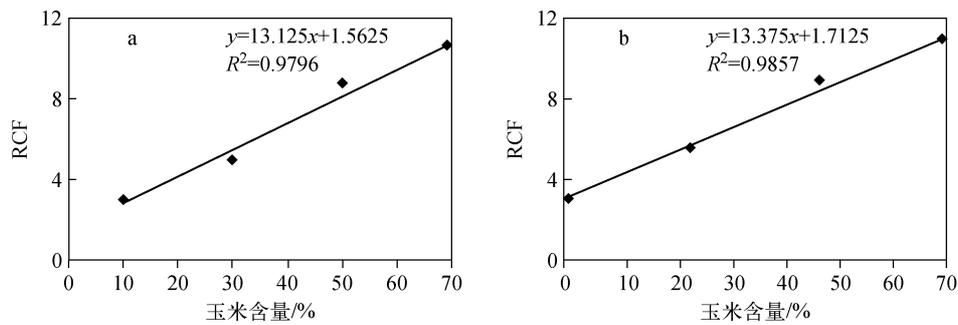


图2 天然色素组实验前期(a)、实验后期(b)玉米含量与蛋黄中RCF值的回归分析

Fig. 2 Regression analysis on RCF values and maize content in yolk of natural group during initial period (a) and final period (b)

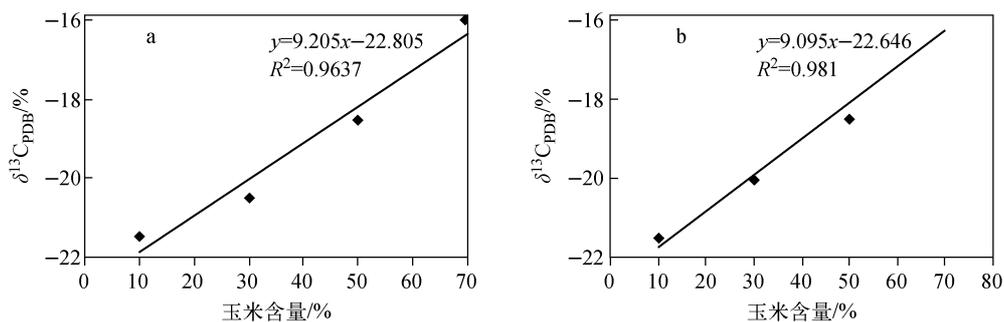


图3 天然色素组实验前期(a)、实验后期(b)玉米含量与蛋黄中 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 值的回归分析

Fig. 3 Regression analysis on $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ values and maize content in yolk of natural group during initial period (a) and final period (b)

3 结论

通过实验发现，在日粮中添加加丽素红及提高玉米含量，都可以增加蛋黄的色度；日粮中玉米含量直接决定鸡蛋 $\delta^{13}\text{C}$ 值，而加丽素红对

鸡蛋 $\delta^{13}\text{C}$ 值基本无影响；鸡蛋RCF值与日粮中加丽素红添加量及玉米含量呈高度正相关，但鸡蛋 $\delta^{13}\text{C}$ 值只与日粮中玉米含量呈高度正相关。

综上,蛋鸡日粮的主要成分直接决定鸡蛋中碳稳定同位素的组成,通过分析蛋鸡日粮和鸡蛋中蛋黄 RCF 值及 $\delta^{13}\text{C}$ 值,可以追溯日粮中有人工色素添加。此实验结果可为鉴别不同来源的鸡蛋提供理论依据,同时对规范蛋鸡生产起到监督作用。

参考文献:

- [1] KORNEXL B E, WERNER T, ROBMANN A, et al. Measurement of stable isotope abundances in milk and milk ingredients—a possible tool for origin assignment and quality control[J]. *Zeitschrift für Lebensmitteluntersuchung Und-forschung A*, 1997, 205(1): 19-24.
- [2] SCHMIDT O, QUILTER J M, BAHAR B, et al. Inferring the origin and dietary history of beef from C, N and S stable isotope ratio analysis [J]. *Food Chemistry*, 2005, 91(3): 545-549.
- [3] PIASENTIER E, VALUSSO R, CAMIN F, et al. Stable isotope ratio analysis for authentication of lamb meat[J]. *Meat Science*, 2003, 64 (3): 239-247.
- [4] 孙淑敏,郭波莉,魏益民,等. 羊组织中碳、氮同位素组成及地域来源分析[J]. *中国农业科学*, 2010, 43(8): 1 670-1 676.
SUN Shumin, GUO Boli, WEI Yimin, et al. Analysis of stable carbon and nitrogen isotope compositions and geographical origins of sheep tissues[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2010, 43 (8): 1 670-1 676(in Chinese).
- [5] DINCA O R, IONETE R E, POPESCU R, et al. Geographical and botanical origin discrimination of romanian honey using complex stable isotope data and chemometrics[J]. *Food Analytical Methods*, 2015, 8(2): 401-412.
- [6] SIMPKINS W A, PATEL G, HARRISON M, et al. Stable carbon isotope ratio analysis of Australian orange juices[J]. *Food Chemistry*, 2000, 70(3): 385-390.
- [7] GREMAUD G, QUAILE S, PIANTINI U, et al. Characterization of Swiss vineyards using isotopic data in combination with trace elements and classical parameters[J]. *European Food Research and Technology*, 2004, 219(1): 97-104.
- [8] GUO L X, XU X M, YUAN J P, et al. Characterization and authentication of significant Chinese edible oilseed oils by stable carbon isotope analysis[J]. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 2010, 87(8): 839-848.
- [9] 吴谋成. 食品分析与感官评定[M]. 北京: 中国农业出版社, 2002: 65-66.
- [10] 郭波莉, 魏益民, 潘家荣. 同位素溯源技术在食品安全中的应用[J]. *核农学报*, 2006, 20(2): 148-153.
GUO Boli, WEI Yimin, PAN Jiarong. Traceability technique of isotopic application in food safety[J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2006, 20(2): 148-153(in Chinese).
- [11] MOLKENTIN J, GIESEMANN A. Follow-up of stable isotope analysis of organic versus conventional milk[J]. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 2010, 398(3): 1 493-1 500.
- [12] 王磊, 钟其顶, 王道兵, 等. 饲料对牛乳的碳稳定同位素比值的影响[J]. *质谱学报*, 2014, 35(4): 379-384.
WANG Lei, ZHONG Qiding, WANG Daobin, et al. The impact of forage on the stable carbon isotope composition in milk[J]. *Journal of Chinese Mass Spectrometry Society*, 2014, 35(4): 379-384(in Chinese).
- [13] 崔琳琳, 刘卫国. 碳同位素在不同奶源鉴别中的应用探讨[J]. *质谱学报*, 2011, 32(4): 164-169.
CUI Linlin, LIU Weigu. The application exploration of carbon stable isotope ratio in identification of fresh milks with different of sources[J]. *Journal of Chinese Mass Spectrometry Society*, 2011, 32(4): 164-169(in Chinese).