

散养与笼养鸡蛋中稳定碳氮同位素特征研究

戴 祁^{1,2,3}, 钟其顶^{2,3}, 王道兵^{2,3}, 武竹英^{2,3}, 陈珊珊^{2,3}, 肖冬光¹

(1. 天津科技大学, 天津 300457; 2. 中国食品发酵工业研究院, 北京 100015;

3. 全国食品发酵标准化中心, 北京 100015)

摘要:建立了元素分析-稳定同位素比值质谱(EA-IRMS)联用测定鸡蛋各组分的碳氮稳定同位素组成的方法,并初步探究了散养与笼养鸡蛋生产的鸡蛋的碳氮稳定同位素分布特征。结果表明:利用该方法测定鸡蛋各组分(蛋清、蛋黄、蛋壳膜)的碳氮同位素组成具有良好的重复性,SD值均不高于0.2‰($n=6$);鸡蛋各组分的碳氮同位素组成存在差异,各组分 $\delta^{13}\text{C}$ 值从大到小的顺序依次为蛋壳膜>蛋清>蛋黄,各组分 $\delta^{15}\text{N}$ 值从大到小的顺序依次为蛋黄>蛋清>蛋壳膜,与 $\delta^{13}\text{C}$ 值的变化规律相反;各组分 $\delta^{13}\text{C}$ 值之间呈线性相关(R^2 分别为0.768,0.761,0.640),各组分 $\delta^{15}\text{N}$ 值之间也呈线性相关(R^2 分别为0.862,0.875,0.711)。对比散养和笼养生产的鸡蛋,散养鸡蛋蛋清中 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 值的分布范围分别为 $-18.00\text{‰} \sim -14.97\text{‰}$, $3.02\text{‰} \sim 4.37\text{‰}$;笼养鸡蛋蛋清中 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 值的分布范围分别为 $-18.96\text{‰} \sim -15.98\text{‰}$, $1.66\text{‰} \sim 2.68\text{‰}$ 。可见,结合 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 值,能够有效地区分散养与笼养鸡蛋。

关键词:鸡蛋;元素分析仪-同位素比值质谱法(EA-IRMS);饲养方式;鉴别

中图分类号:O657.63

文献标志码:A

文章编号:1004-2997(2016)04-0366-08

doi:10.7538/zpxb.2016.37.04.0366

Study on Stable Carbon and Nitrogen Isotope Characteristics of Cage-Free Eggs and Caged Eggs

DAI Qi^{1,2,3}, ZHONG Qi-ding^{2,3}, WANG Dao-bing^{2,3}, WU Zhu-ying^{2,3},

CHEN Shan-shan^{2,3}, XIAO Dong-guang¹

(1. Tianjin University of Science and Technology, Tianjin 300457, China;

2. China National Institute of Food and Fermentation Industries, Beijing 100015, China;

3. National Standardization Center of Food & Fermentation Industry, Beijing 100015, China)

Abstract: A method of elemental analysis-stable isotope ratio mass spectrometry (EA-IRMS) was established for determination of the components of carbon and nitrogen stable isotope of EW (egg white), EY (egg yolks) and EM (eggshell membrane). And carbon and nitrogen stable isotope distribution characteristics of free-range eggs and caged eggs were explored preliminary. The results show that the method has good repeatability in determination of carbon and nitrogen isotopic composition of EW, EY and EM, and SD values are less than 0.2‰ ($n=6$). Carbon and nitrogen isotopic

compositions are different in egg white, egg yolks and eggshell membrane ($\delta^{13}\text{C}$: $\text{EM} > \text{EY} > \text{EW}$, $\delta^{15}\text{N}$: $\text{EW} > \text{EY} > \text{EM}$). But $\delta^{13}\text{C}$ values of each components are linearly related (R^2 are 0.768, 0.768, 0.761 for EW, EY and EM, respectively), and $\delta^{15}\text{N}$ values for each components also have linear relationship (R^2 are 0.862, 0.862, 0.875). $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ values of free-range eggs (EW) are from -18.00‰ to -14.97‰ and from 3.02‰ to 4.37‰ , respectively, and that of caged eggs (EW) are from -18.96‰ to -15.98‰ and from 1.66‰ to 2.68‰ , respectively. Combined with $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ values can better distinguish caged eggs and free-range eggs.

Key words: egg; element analyzer-isotope ratio mass spectrometry (EA-IRMS); feeding pattern; identification

鸡蛋含有大量的维生素、矿物质及高生物价值的蛋白质^[1],长久以来一直是人类最好的营养来源之一。市场上的鸡蛋主要分为散养鸡蛋、笼养鸡蛋和有机饲养鸡蛋。相比笼养鸡,散养鸡和有机饲养鸡有更大的活动空间,有机会自由的寻找食物,如蛆虫、甲虫、蠕虫、草、种子等,可以少量食用或不食用化学合成的农药、化肥、生长调节剂、抗生素、饲料添加剂等物质。因此普遍认为,按照散养方式和有机饲养方式生产的鸡蛋更符合消费者的消费心理^[2]。但由于散养和有机饲养方式生产的鸡蛋生产投入成本较高^[3],相应的市场价格也较高,有些不法商家在巨大利益的驱使下,以普通笼养鸡蛋冒充散养、有机鸡蛋牟取高额利润。目前,我国还没有针对有机鸡蛋、散养鸡蛋的国家和行业标准,只有一些地方性的标准^[4-5],而且其重点是生产过程的监控,缺少检测和鉴别指标。因此,建立不同饲养方式的鸡蛋检测和鉴别方法,对于打击不法生产厂家,维护消费者的权益具有重大意义。

基于稳定同位素的自然分馏特征^[6-7],稳定同位素技术已被用于一些植源性产品的产地溯源和真实性鉴别^[8-12]。动物是异养生物,虽然稳定同位素在代谢过程中会出现一些代谢分馏,但动物体内的同位素组成一般会保留其原料的同位素差异^[13-17]。文献^[14-16]已对牛奶、鸡肉、牛肉等动物源性食品的稳定同位素分布规律做了相关研究,证明动物组织的稳定同位素分布受饲料种类和生长环境的影响,利用稳定同位素技术可以进行牛肉、鸡肉等产地的溯源,和牛奶奶源的鉴别。

国际上,关于稳定同位素在鸡蛋鉴别领域应用的研究和报道相对较少^[18];在国内,稳定

同位素技术在禽蛋上的应用基本处于空白状态,鸡蛋生产方式鉴别方面的研究尚处于起步阶段。

本研究拟采用元素分析仪-同位素比值质谱法(EA-IRMS)测定鸡蛋各组分(蛋清、蛋黄、蛋壳膜)中 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 值,以及鸡蛋各组分间碳氮稳定同位素的相关性,探讨不同饲养方式的鸡蛋各组分的碳氮同位素组成,为利用碳、氮稳定同位素鉴别蛋鸡的饲养方式奠定基础。

1 实验部分

1.1 装置与仪器

EA-IRMS 元素分析-稳定同位素比值质谱联用仪:美国 Thermo-Fisher 公司产品,配有 Flash 2000 型有机元素分析仪及 Conflo IV 连续流稀释装置;烘箱:上海一恒科技有限公司产品;冷冻干燥机:北京亚泰科隆仪器技术有限公司产品;十万分之一天平:瑞士 Mettler-Toledo 公司产品;分散机(型号 T25):德国 IKA 公司产品。

1.2 实验材料与样品采集

锡杯:美国 Element Microanalysis 公司产品;EA-IRMS 标准物质 IAEA600 ($\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}} = (-27.771 \pm 0.043)\text{‰}$)、IAEA-CH-6 ($\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}} = (-10.449 \pm 0.033)\text{‰}$) 和空气氮库 ($\delta^{15}\text{N}_{\text{Air}} = (1.0 \pm 0.2)\text{‰}$):由国际原子能机构提供。

样品采集地点:北京地区 11 家养鸡场,其中 4 家散养鸡、7 家笼养鸡;采样时间:2015-05-01~2015-05-30;采样方案:每隔 5 天随机取 1 个鸡蛋样品;每家养鸡场采样量为 6 枚,共计 66 枚。11 家养鸡场鸡的饲养方式及饲料组成情况列于表 1。

表 1 11 家养鸡场蛋鸡的饲养方式及饲料组成

Table 1 Rearing methods and fodder composition of layers in 11 farms

养鸡场编号	饲养方式	饲料组成	养鸡场编号	饲养方式	饲料组成
L-1	笼养	玉米、豆粕等	L-7	笼养	玉米、豆粕、小麦等
L-2	笼养	玉米、豆粕等	S-1	散养	玉米、豆粕、草籽、紫苏、黄粉虫等
L-3	笼养	玉米、豆粕、麸皮等	S-2	散养	玉米、豆粕、南瓜叶、蛆虫、黄粉虫等
L-4	笼养	玉米、豆粕等	S-3	散养	玉米、豆粕、青草、草籽、蛆虫等
L-5	笼养	玉米、豆粕等	S-4	散养	玉米、豆粕、青草、草籽、黄粉虫等
L-6	笼养	玉米、豆粕、麸皮等			

市场采样:采集 10 个品牌的市售鸡蛋样品(生产日期为 2015 年 5 月),其中散养鸡蛋和非散养鸡蛋各 5 个品牌。

1.3 样品前处理

1.3.1 清洗 用蒸馏水冲洗鸡蛋,除去蛋壳表面附着的饲料、粪便等,再用丙酮擦洗蛋壳,除去蛋壳表面残留的有机物质,然后置于通风橱中挥干蛋壳表面的丙酮^[19]。

1.3.2 蛋清和蛋黄 敲破鸡蛋,分离蛋清和蛋黄,注意保证蛋黄膜的完整性,然后用移液枪吸走蛋黄周围多余的蛋清,并吸除卵系带^[19]。用分散机分别均质蛋清和蛋黄,使其组分均匀一致,然后各取 0.5 g 蛋清和蛋黄,置于真空冷冻干燥机中冷冻干燥 24 h 后,制成均匀粉末,保存于干燥皿中,待测。

1.3.3 蛋壳膜 用镊子小心分离蛋壳上所有的蛋壳膜,用蒸馏水冲洗 5 次,置于 40 ℃烘箱中烘干 1 h,然后进行液氮研磨,制成均匀粉末,置于干燥皿中,待测。

1.4 样品测定

EA-IRMS 分析系统^[20]的条件为氧化管温度 980 ℃,还原管温度 650 ℃,柱温 60 ℃,氦气流速 100 mL/min^[20]。利用跳峰模式同时测定碳、氮稳定同位素,88 s 时开始进样,先用¹⁵N 的测定程序,305 s 时自动调整至¹³C 的测定程序,其色谱图示于图 1。每个样品平行测定 3 次,得出样品的 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ 值。

在样品测定序列中,同时测定 2 个参考物质,依据 Stephen 等^[21]报道的方法进行校正,得出样品的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 。

测定结果以 $\delta(\text{‰})$ 表示^[22]:

$$\delta_{\text{样品}} = (R_{\text{样品}}/R_{\text{标准}} - 1) \times 1\,000$$

其中, $R_{\text{样品}}$ 为稀有同位素/丰富同位素的比值(例如¹⁵N/¹⁴N,或者¹³C/¹²C); $R_{\text{标准}}$ 为¹³C 标准物质,美国南卡罗来纳州白垩纪皮狄组层位中的拟箭石化石(V-PDB),¹³C/¹²C=(11 237.2±90)×10⁻⁶。

¹⁵N 标准物质为空气氮库中¹⁵N 与¹⁴N 的比值,¹⁵N/¹⁴N=0.003 68。

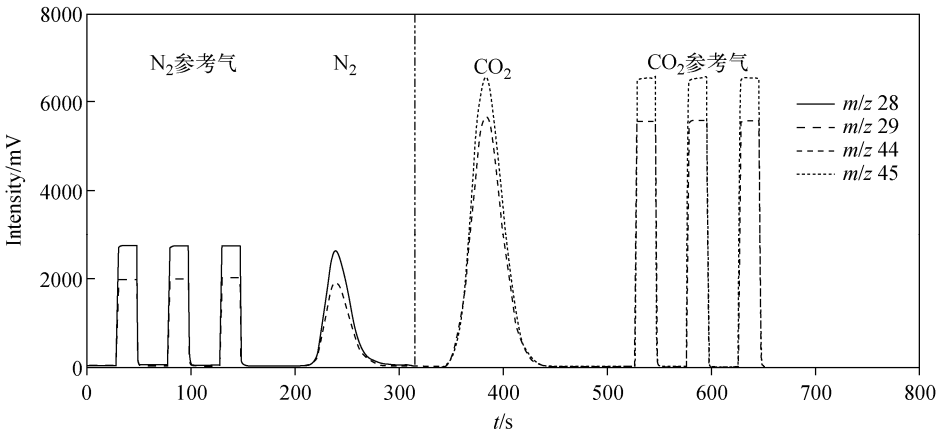


图 1 碳、氮稳定同位素同时测定色谱图

Fig. 1 Chromatogram of simultaneous determination of carbon and nitrogen stable isotopes

2 结果与讨论

2.1 测定重复性验证

随机选取 1 枚鸡蛋,按 1.3 节步骤处理鸡蛋各组分。蛋清、蛋黄分别处理 6 份,蛋壳膜按 1.3 节方法烘干后,进行初步破碎,按其质量平均分成 6 份,分别进行液氮研磨。每份样品平行测定 3 次,其结果列于表 2。可以看出,测定的稳定碳、氮同位素值具有良好的重复性,SD 值不高于 0.20‰,均在误差允许范围内^[23]。

2.2 采样稳定性验证

按 1.2 节方法采集样品,按 1.3 节方法进行前处理,然后测定已收集鸡蛋各组分的 $\delta^{13}\text{C}$ 值和 $\delta^{15}\text{N}$ 值,随机选取的其中一家养鸡场样品

的测定结果列于表 3。可以看出:30 天内同一养鸡场不同批次鸡蛋各组分的 $\delta^{13}\text{C}$ 值和 $\delta^{15}\text{N}$ 值有良好的稳定性;各组分 $\delta^{13}\text{C}$ 的 SD 值不超过 0.2‰, $\delta^{15}\text{N}$ 的 SD 值不超过 0.3‰;比较而言,蛋清的稳定性最为良好。其他 10 家样品也得到了类似的测定结果:同一养鸡场按 1.2 节方法采集的鸡蛋样品各组分 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 的 SD 值均不超过 0.4‰,在此不再一一罗列测定数据。该结果说明,在饲养方式和饲料组成不变的情况下,一段时间内,鸡蛋各组分的稳定同位素分布规律未呈现出明显的改变,按照 1.2 节方法采集的样品的碳、氮稳定同位素分布特征可以代表该养鸡场的整体情况。

表 2 测定重复性验证
Table 2 Test and verify of measurement repeatability

份数	蛋清		蛋黄		蛋壳膜	
	$\delta^{13}\text{C}/\text{‰}$	$\delta^{15}\text{N}/\text{‰}$	$\delta^{13}\text{C}/\text{‰}$	$\delta^{15}\text{N}/\text{‰}$	$\delta^{13}\text{C}/\text{‰}$	$\delta^{15}\text{N}/\text{‰}$
1	-16.52±0.01	2.03±0.02	-16.82±0.03	2.54±0.01	-15.46±0.02	2.13±0.03
2	-16.28±0.02	2.16±0.02	-16.64±0.02	2.75±0.05	-15.77±0.03	2.46±0.02
3	-16.61±0.01	2.08±0.05	-16.67±0.01	2.47±0.03	-15.88±0.02	2.67±0.03
4	-16.35±0.03	2.56±0.04	-16.43±0.03	2.32±0.02	-15.98±0.01	2.31±0.04
5	-16.21±0.02	2.37±0.02	-16.94±0.05	2.86±0.03	-15.49±0.04	2.17±0.05
6	-16.07±0.04	2.04±0.03	-16.38±0.02	2.51±0.04	-15.78±0.05	2.54±0.03
平均值/‰	-16.34	2.21	-16.65	2.58	-15.73	2.38
SD/‰	0.18	0.20	0.20	0.18	0.19	0.19

表 3 采样稳定性验证
Table 3 Test and verify of sample stability

天数	蛋清		蛋黄		蛋壳膜	
	$\delta^{13}\text{C}/\text{‰}$	$\delta^{15}\text{N}/\text{‰}$	$\delta^{13}\text{C}/\text{‰}$	$\delta^{15}\text{N}/\text{‰}$	$\delta^{13}\text{C}/\text{‰}$	$\delta^{15}\text{N}/\text{‰}$
5	-16.67±0.03	2.53±0.05	-18.58±0.03	3.33±0.04	-16.38±0.02	2.05±0.05
10	-16.64±0.03	2.62±0.04	-18.58±0.02	2.73±0.05	-16.42±0.05	1.84±0.04
15	-16.63±0.05	2.68±0.03	-18.48±0.04	3.16±0.05	-16.23±0.03	2.20±0.05
20	-16.32±0.02	2.57±0.02	-18.17±0.04	2.93±0.05	-16.01±0.04	2.13±0.02
25	-16.78±0.01	2.23±0.05	-18.62±0.01	2.50±0.02	-16.36±0.02	1.75±0.04
30	-16.83±0.06	2.68±0.04	-18.79±0.02	3.12±0.04	-16.47±0.03	2.23±0.02
平均值/‰	-16.65	2.55	-18.54	2.96	-16.31	2.03
SD/‰	0.16	0.15	0.19	0.28	0.15	0.18

2.3 鸡蛋不同组分碳、氮稳定同位素关系研究

2.3.1 鸡蛋各组分中碳稳定同位素特征 蛋清、蛋黄和蛋壳膜 3 种组分之间的 $\delta^{13}\text{C}$ 值存在差异,但也存在一定的规律。各组分 $\delta^{13}\text{C}$ 值从大到小的顺序依次为蛋壳膜>蛋清>蛋黄。相关性分析结果表明,三者呈两两正相关,其中,蛋清与蛋黄、蛋清与蛋壳膜的相关系数分别为 0.768、0.761,蛋黄与蛋壳膜的相关系数为 0.640,结果示于图 2。这说明:不同饲养方式的鸡蛋各组分 $\delta^{13}\text{C}$ 值的变化趋势一致,这是因为蛋清、蛋黄、蛋壳膜均来自于同一个蛋鸡机体,其同位素必然有同源性^[24];但 3 种组分之间的 $\delta^{13}\text{C}$ 值存在差异,这是因为不同组分的成分组成是不同的,而不同化学成分在蛋鸡消化吸收、再合成过程中的代谢分馏情况不同^[25]。

Sakamoto 等^[26]研究发现,脂肪的 $\delta^{13}\text{C}$ 值低于蛋白质的,鸡蛋各组分中蛋壳膜是一种胶原蛋白,而蛋黄脂肪含量很高,所以 $\delta^{13}\text{C}$ 值呈上述的变化规律。

2.3.2 鸡蛋各组分中氮稳定同位素特征 蛋清、蛋黄和蛋壳膜 3 种组分之间的 $\delta^{15}\text{N}$ 值也存在差异,各组分 $\delta^{15}\text{N}$ 值从大到小的顺序依次为蛋黄>蛋清>蛋壳膜,这与各组分 $\delta^{13}\text{C}$ 值的变化规律相反。相关性分析结果表明,三者之间两两正相关,蛋清与蛋黄、蛋清与蛋壳膜的相关系数分别为 0.862 和 0.875,蛋黄与蛋壳膜的相关系数为 0.711,结果示于图 3。与碳同位素一样,各组分的稳定氮同位素也表现出一致的变化规律,这说明,蛋清、蛋黄、蛋壳膜对膳食或环境中¹⁵N 的累积模式相同^[27]。

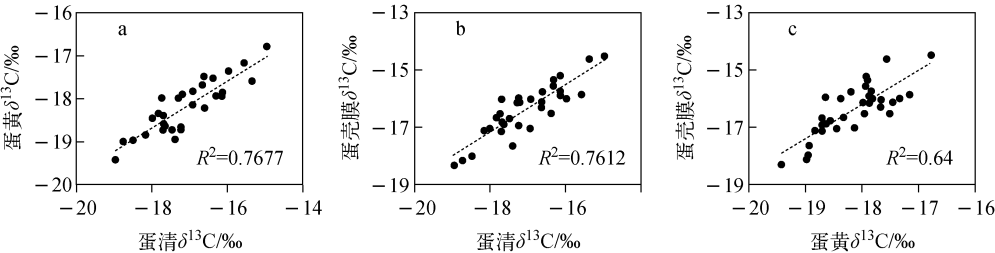


图 2 蛋清、蛋黄、蛋壳膜 $\delta^{13}\text{C}$ 值的相关性
Fig. 2 Relationships of $\delta^{13}\text{C}$ value for egg white, egg yolk and egg membrane

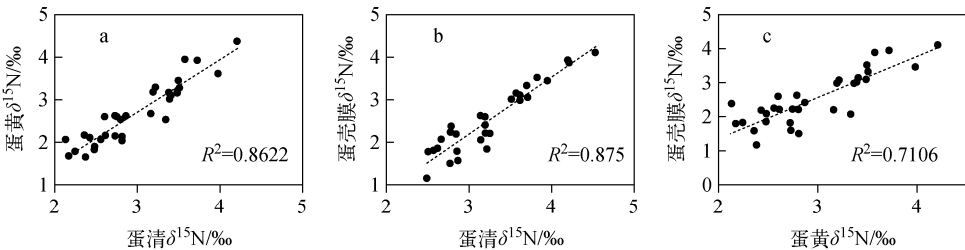


图 3 蛋清、蛋黄、蛋壳膜 $\delta^{15}\text{N}$ 值的相关性
Fig. 3 Relationships of $\delta^{15}\text{N}$ value for egg white, egg yolk and egg membrane

由于鸡蛋各组分的 $\delta^{13}\text{C}$ 值和 $\delta^{15}\text{N}$ 值均具有相关性,且蛋壳膜分离操作困难,蛋黄脂肪含量高,较难冷冻干燥,为了实验方便,后续研究只取蛋清作为研究对象,仅比较不同来源鸡蛋中蛋清的碳氮同位素组成。

2.4 实际应用

动物组织中的同位素组成不仅受食物种类的影响,而且受代谢分馏的影响。研究表

明,碳同位素主要与植物的光合作用方式有关,而氮同位素受气候、土壤、施肥、植物类型等多种因素影响^[28-29]。因此,动物组织中的 $\delta^{13}\text{C}$ 值主要反映食物组成,而 $\delta^{15}\text{N}$ 值是多种因素综合影响的结果。生态学上,经常用¹⁵N 来研究动物的营养等级^[30]。笼养和散养蛋鸡主要饲料的碳、氮稳定同位素分布情况列于表 4。

表 4 蛋鸡主要饲料的 $\delta^{13}\text{C}$ 值和 $\delta^{15}\text{N}$ 值

Table 4 $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ values of the main feed for layers

饲料种类	$\delta^{13}\text{C}$ 值/ ‰	$\delta^{15}\text{N}$ 值/ ‰
玉米	-12.03 ± 0.1	0.43 ± 0.5
玉米豆粕混合料	-17.18 ± 0.2	-0.43 ± 0.2
玉米麸皮混合料	-19.38 ± 0.1	-0.29 ± 0.1
南瓜叶	-26.25 ± 0.3	1.08 ± 0.3
草籽	-16.93 ± 0.0	2.93 ± 0.1
紫苏	-28.36 ± 0.2	2.02 ± 0.1
黄粉虫	-28.09 ± 0.3	5.20 ± 0.4

2.4.1 由碳稳定同位素值进行鉴别 散养、笼养两种饲养方式的鸡蛋蛋清的 $\delta^{13}\text{C}$ 值示于图 4。可以看出,散养鸡蛋的 $\delta^{13}\text{C}$ 值在范围上更为偏正,这可能是因为散养鸡食入的动物脂肪较多,相应的鸡蛋脂肪含量高^[31],而脂肪对 ^{13}C 有贫化作用^[32],所以脂肪含量越高,蛋清的 $\delta^{13}\text{C}$ 值越偏正。但由于这两类饲养方式的主要饲料组成都是玉米和豆粕,所以 $\delta^{13}\text{C}$ 值的交叠范围大。因此, $\delta^{13}\text{C}$ 值不能为单一样品饲养方式的鉴别提供明显有效的依据,但可作为大批量样品鉴别的参考。

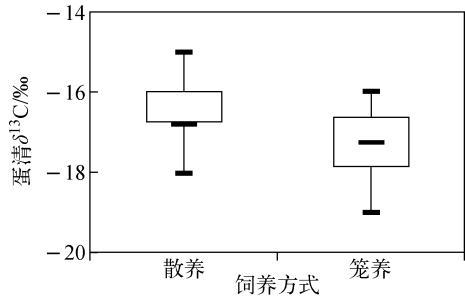


图 4 蛋清的 $\delta^{13}\text{C}$ 值

Fig. 4 $\delta^{13}\text{C}$ values of egg white

2.4.2 由氮稳定同位素值进行鉴别 与笼养相比,散养的蛋鸡能自由觅食,有机会摄入营养等级更高的动物蛋白,使得蛋清的 $\delta^{15}\text{N}$ 值比笼养的鸡蛋更为偏正^[33],结果示于图 5。由图 5 可见,散养方式生产的鸡蛋蛋清的 $\delta^{15}\text{N}$ 值明显高于笼养方式生产的鸡蛋,这与 Rogers^[32] 得出的结论一致。

2.4.3 市售商品鸡蛋的验证 分别收集 5 个品牌的市售散养鸡蛋和非散养鸡蛋,测定蛋清

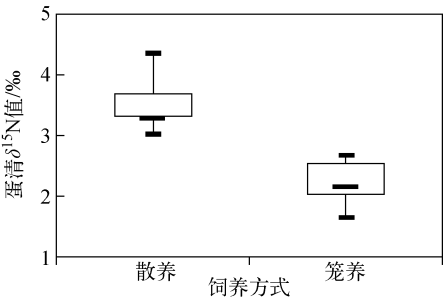


图 5 蛋清的 $\delta^{15}\text{N}$ 值

Fig. 5 $\delta^{15}\text{N}$ values of egg white

的 $\delta^{13}\text{C}$ 值和 $\delta^{15}\text{N}$ 值,分布情况示于图 6。可以看出:散养和非散养鸡蛋呈现明显差异性;有一品牌标明为纯山林放养鸡蛋,其 $\delta^{15}\text{N}$ 值高达 6.85‰ ,明显高于其他品牌的样品,这可能与自由觅食地域范围大,有机会食入更多昆虫、蠕虫等高级动物蛋白有关;有一非散养品牌鸡蛋的 $\delta^{15}\text{N}$ 值为负数,这可能与该品牌鸡蛋的饲料来源为重度施肥区有关;另外有一散养品牌鸡蛋的 $\delta^{15}\text{N}$ 值为 1.79‰ ,更接近于笼养鸡蛋,怀疑为假冒产品,需要通过其他研究进一步确认。

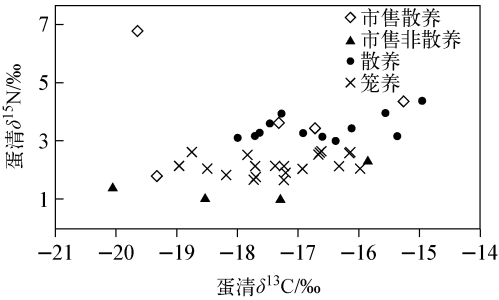


图 6 不同批次鸡蛋蛋清的 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 分布图

Fig. 6 $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ distribution of different batches for egg white

3 结论

本工作建立了元素分析仪-稳定同位素比值质谱法测定鸡蛋各组分(蛋黄、蛋清、蛋壳膜)的碳、氮稳定同位素。研究表明,鸡蛋中不同组分的 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 之间均具有良好的相关性,可选择其中一种组分进行后续研究分析,而且同一养鸡场 30 天内生产的鸡蛋的稳定同位素组成波动较小。本工作研究了散养鸡蛋和笼养鸡蛋的稳定同位素特征,数据显示,由于不同饲养方式饲喂的饲料种类不同,两种鸡蛋的稳定

同位素组成存在一定的差异,其中散养鸡蛋 $\delta^{13}\text{C}$ 值较笼养鸡蛋更为偏正, $\delta^{15}\text{N}$ 值也大于笼养鸡蛋,这表明应用稳定同位素技术可以区分不同饲养方式的鸡蛋,进而鉴别蛋鸡的饲养方式。但是,由于稳定同位素的自然波动特性,同种饲料也可能出现同位素差异,因此,该方法的应用准确性还需进一步的研究和验证。

参考文献:

- [1] 赵法利,刘静波,刘瑜,等. 鸡蛋中功能成分的研究[J]. 食品科学,2007,27(12):798-802.
ZHAO Fali, LIU Jingbo, LIU Yu, et al. Study on function components in eggs[J]. Food Science, 2007, 27(12): 798-802(in Chinese).
- [2] 杨海明,曹玉娟,朱晓春,等. 散养对产蛋鸡生产性能,蛋品质及繁殖系统发育的影响[J]. 动物营养学报,2013,25(8):1 866-1 871.
YANG Haiming, CAO Yujuan, ZHU Xiaochun, et al. Free range: Effects on production performance, egg quality and reproductive system growth of laying hens[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2013, 25(8): 1 866-1 871(in Chinese).
- [3] 张乐,薛杰. 散养,笼养,网上平养 3 种不同的饲养方式对鸡产蛋量的影响[J]. 北京农业,2015, (6):89.
ZHANG Le, XUE Jie. The impact on chicken egg production of three different feeding way cage-free, caged and online[J]. Beijing Agricultural, 2015, (6): 89(in Chinese).
- [4] 河北省畜牧兽医研究所. DB13/T 1214—2010 有机食品鸡蛋生产技术规程[S]. 石家庄:河北省质量技术监督局,2010.
- [5] 河北省畜牧兽医研究所. DB13/T 549—2004 柴鸡蛋[S]. 石家庄:河北省质量技术监督局,2004.
- [6] 吴绍洪,潘韬,戴尔阜. 植物稳定同位素研究进展与展望[J]. 地理科学进展,2006,25(3):1-11.
WU Shaohong, PAN Tao, DAI Erfu. The research progress and prospect of plant stable isotope[J]. Progress in Geography, 2006, 25(3): 1-11(in Chinese).
- [7] 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).
- [8] SCHMIDT H, ROSSMANN A, VOERKELIUS S, et al. Isotope characteristics of vegetables and wheat from conventional and organic production[J]. Isotopes in Environmental and Health Studies, 2005, 41(3): 223-228.
- [9] 牛丽影,胡小松,赵镭,等. 稳定同位素比率质谱法在 NFC 与 FC 果汁鉴别上的应用初探[J]. 中国食品学报,2009,9(4):192-197.
NIU Liying, HU Xiaosong, ZHAO Lei, et al. The primary research of stable isotope ratio mass spectrometry method in application of NFC and FC juice authentic identification[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2009, 9(4): 192-197(in Chinese).
- [10] 金青哲,施峰华,谢峰,等. 碳同位素比值法检测棕榈油掺入玉米油的研究[J]. 中国油脂,2009, 34(1):73-75.
JIN Qingzhe, SHI Fenghua, XIE Feng, et al. Detection of palm oil adulterated into corn oil by carbon isotope ratio method[J]. China Oils and Fats, 2009, 34(1): 73-75(in Chinese).
- [11] WOODBURY S E, EVERSHED R P, ROSELL J B, et al. Detection of vegetable oil adulteration using gas-chromatography combustion isotope ratio mass-spectrometry[J]. Anal Chem, 1995, 67(15): 2 685-2 590.
- [12] 胡柳花,李沈轶,李玉伟,等. 利用稳定碳同位素的 EA-IRMS 分析法研究植物糖浆对蜂蜜的影响[J]. 中国食品学报,2010,10(2):239-242.
HU Liuhua, LI Shenyi, LI Yuwei, et al. The effect of plant syrup on honey by carbon EA-IRMS method[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2010, 10(2): 239-242(in Chinese).
- [13] CAMIN F, WIETZEBIN K, CORTES A B, et al. Application of multielement stable isotope ratio analysis to the characterization of French, Italian, and Spanish cheeses[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2004, 52(21): 6 592-6 601.
- [14] 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(3):164-169.
CUI Linlin, LIU Weiguo. 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(3): 164-169(in Chinese).
- [15] 孙丰梅,王慧文,杨曙明. 稳定同位素碳、氮、硫、氢在鸡肉产地溯源中的应用研究[J]. 分析测试学报,2008,27(9):925-929.
SUN Fengmei, WANG Huiwen, YANG Shuming. Application of carbon, nitrogen, sulfur and hydrogen stable isotope in chicken origin tracea-

- bility[J]. Journal of Instrumental Analysis, 2008, 27(9): 925-929(in Chinese).
- [16] 郭波莉,魏益民,潘家荣,等. 牛不同组织中稳定性碳同位素组成及变化规律研究[J]. 中国农业科学, 2006, 39(9): 1 885-1 890.
- GUO Boli, WEI Yimin, PAN Jiarong, et al. Study on the change of stable carbon isotope composition in cattle tissues[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2006, 39(9): 1 885-1 890(in Chinese).
- [17] OSORIO M T, MOLONEY A P, SCHMIDT O, et al. Beef authentication and retrospective dietary verification using stable isotope ratio analysis of bovine muscle and tail hair[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2011, 59(7): 3 295-3 305.
- [18] ROCK L. The use of stable isotope techniques in egg authentication schemes: A review[J]. Trends in Food Science & Technology, 2012, 28(2): 62-68.
- [19] ROCK L, ROWE S, CZERWIEC A, et al. Isotopic analysis of eggs: Evaluating sample collection and preparation[J]. Food Chemistry, 2013, 136(3): 1 551-1 556.
- [20] 钟其顶,武竹英,仇凯,等. 高粱中氮同位素丰度的测定和应用[J]. 质谱学报, 2014, 35(4): 367-371.
- ZHONG Qiding, WU Zhuying, QIU Kai, et al. Determination and application of ^{15}N abundance in sorghum[J]. Journal of Chinese Mass Spectrometry Society, 2014, 35(4): 367-371(in Chinese).
- [21] STEPHEN T N. Sample vial influences on the accuracy and precision of carbon and oxygen isotope ratio analysis in continuous flow mass spectrometric applications[J]. Rapid Communications in Mass Spectrometry, 2000, 14(4): 293-297.
- [22] 永飞,江峰. 稳定同位素地球化学[M]. 北京:科学出版社, 2000.
- [23] 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): 378-384.
- WANG Lei, ZHONG Qiding, WANG Daobing, et al. The impact of forage on the stable carbon isotope composition in milk[J]. Journal of Chinese Mass Spectrometry Society, 2014, 35(4): 378-384(in Chinese).
- [24] TIESZEN L L, BOUTTON T W, TESDAHL K G, et al. Fractionation and turnover of stable carbon isotopes in animal tissues: Implications for $\delta^{13}\text{C}$ analysis of diet[J]. Oecologia, 1983, 57(1/2): 32-37.
- [25] 孙丰梅,于洪侠,吴伟,等. 稳定性同位素碳、氮在牛不同组织中的变化规律[J]. 核农学报, 2009, 23(3): 462-466.
- SUN Fengmei, YU Hongxia, WU Wei, et al. Changes of stable isotopes carbon-13 and nitrogen-15 in different tissues of cattle[J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2009, 23(3): 462-466(in Chinese).
- [26] SAKAMOTO N, ISHIDA T, ARIMA T, et al. Concentrations of radiocarbon and isotope compositions of stable carbon in food[J]. Journal of Nuclear Science and Technology, 2002, 39(4): 323-328.
- [27] DENADAI J C, DUCATTI C, SARTORI J R, et al. Traceability of bovine meat and bone meal in eggs from laying hens fed with alternative ingredients[J]. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 2009, 44(1): 1-7.
- [28] KELLY S, HEATON K, HOOGEWERFF J. Tracing the geographical origin of food: The application of multi-element and multi-isotope analysis[J]. Trends in Food Science & Technology, 2005, 16(12): 555-567.
- [29] GHIDINI S, IANIERI A, ZANARDI E, et al. Stable isotopes determination in food authentication: A review[J]. Ann Fac Medic Vet Univ Parma, 2006, 26: 193-204.
- [30] 王建柱,林光辉,黄建辉,等. 稳定同位素在陆地生态系统动植物相互关系研究中的应用[J]. 科学通报, 2004, 49(21): 2 141-2 149.
- WANG Jianzhu, LIN Guanghui, HUANG Jianhui, et al. The application of stable isotope in research of terrestrial ecosystems-plant relationship[J]. Chinese Science Bulletin, 2004, 49(21): 2 141-2 149(in Chinese).
- [31] 曹颖霞,王思珍. 笼养鸡和散养鸡蛋产品理化成分的分析与比较[J]. 中国畜牧杂志, 2004, 40(5): 45-47.
- CAO Yingxia, WANG Sizhen. Analysis and comparison of physical and chemical composition in caged eggs and free-range eggs[J]. Chinese Journal of Animal Science, 2004, 40(5): 45-47(in Chinese).
- [32] ROGERS K. Stable isotopes as a tool to differentiate eggs laid by caged, barn, free range, and organic hens[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2009, 57(10): 4 236-4 242.
- [33] de SMET S, BALCAEN A, CLAEYS E, et al. Stable carbon isotope analysis of different tissues of beef animals in relation to their diet[J]. Rapid Communications in Mass Spectrometry, 2004, 18(11): 1 227-1 232.