

## 鸟类组织中稳定同位素周转率研究现状

李继荣<sup>1,3</sup>, 杨乐<sup>2</sup>, 李来兴<sup>3\*</sup>

(1. 西藏自治区农牧科学院农业质量标准与检测研究所, 拉萨 850000; 2. 西藏自治区高原生物研究所, 拉萨 850000; 3. 中国科学院西北高原生物研究所, 中国科学院高原生物适应与进化重点实验室, 西宁 810001)

**摘要:** 稳定同位素分析技术被广泛应用于鸟类生态学多个方面的研究, 如鸟类迁徙、营养级关系、生活史、食性等。根据不同的研究目的和要求, 选择目标周期相对应的组织进行研究。在此前提下, 掌握不同组织稳定同位素的周转率就显得尤为重要。目前国内有关鸟类组织稳定同位素周转率及其差异的研究较为有限, 本文对国际上研究周转率的常见假说、方法和影响周转率的因素进行综述, 旨在抛砖引玉, 为利用稳定同位素技术开展鸟类学方面的研究提供依据。

**关键词:** 稳定同位素; 周转率; 鸟类生态学

**中图分类号:** Q959.7 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7083(2016)06-0956-05

## Turnover Rates of Stable Isotope in Avian Tissues

LI Jirong<sup>1,3</sup>, YANG Le<sup>2</sup>, LI Laixing<sup>3\*</sup>

(1. Institute of Agricultural Product Quality Standard and Testing Research, Tibet Academy of Agricultural and Animal Husbandry Sciences, Lhasa 850000, China; 2. Tibet Plateau Institute of Biology, Lhasa 850000, China; 3. Key Laboratory of Adaptive and Evolution of Plateau Biology, Northwest Plateau Institute of Biology, Chinese Academy of Science, Xining 810001, China)

**Abstract:** The stable isotope analysis technology is widely used in the field of avian ecology research, such as bird migration, trophic level relationship, life history, feeding, etc. And specific tissue should be selected according to different research purposes and requirements. Therefore, it is particularly important to understand different tissue's stable isotope turnover rate. Studies of avian tissues stable isotope turnover and their difference are relatively limited for relevant domestic research, thus the common hypothesis on turnover, methods, and influencing factors of international research were reviewed in this paper, aiming to provide the basis for the use of stable isotope technology in ornithology research.

**Key words:** stable isotope; turnover rate; avian ecology

动物组织中的  $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ 、 $\delta^{18}\text{O}$ 、 $\delta\text{D}$  稳定同位素比值已经发展成为一种非常有用的参数, 对于研究动物的时空变化和栖息地利用情况有很重要的作用 (Hobson, 1999)。组织连续不断吸收的外源碳和其他元素, 经常被用来回答动物资源利用中的时间和空间变化情况, 但是这种应用的前提是需要知道特定组织的周转率 (Bauchinger *et al.*, 2010)。爪、羽毛、血液、肌肉、骨骼是较为常见的稳定同位素测试样品, 由于爪、羽毛、血液相对于其他组织为非破坏性取样, 掌握这些组织中稳定同位素的周转率对于研究鸟类生态学有很重要的意义 (Barquete *et al.*, 2013)。

稳定同位素技术已经被用于濒危物种繁殖地与越冬地之间联系的研究中 (Rubenstein & Hobson, 2004)。动物组织中稳定同位素的组成反映其食物中的稳定同位素特征。然而, 当食物改变或动物迁徙到具有不同稳定同位素背景值的

新环境中时, 动物组织稳定同位素比值会发生改变, 这种改变并非立刻改变, 由于不同组织具有不同的同位素周转率, 个体在新环境下长期居住时, 不同组织最终在新环境下达到平衡。依赖于不同组织中稳定同位素的周转率不同, 个体会在不同时间地点携带上不同的稳定同位素指纹信息。周转率较快的组织例如肝脏、血浆等, 其稳定同位素比值反映的是较短时间内动物所食食物的稳定同位素比值信息。而周转率较慢的组织例如肌肉、骨骼等, 其稳定同位素比值反映的是较长时间段的食物稳定同位素比值信息 (Pearson *et al.*, 2003)。代谢惰性组织例如毛发、蛋壳、羽毛等, 其稳定同位素比值反映的是生长过程中动物所食食物的稳定同位素信息 (易现峰, 张晓爱, 2005)。目前在利用稳定同位素技术分析鸟类食性方面的研究中还存在 2 个限制因素: 一是对同位素在动物组织生长过程中的稳定同位素分馏情况和组织形

收稿日期: 2016-08-23 接受日期: 2016-10-09

基金项目: 国家自然科学基金项目 (31360141; 31071936); 西藏自治区自然科学基金项目 (Z2012A49G27/00)

作者简介: 李继荣 (1987—), 女, 硕士研究生, 从事动物生态及生物地球化学相关研究, E-mail: ljr18697179656@163.com

\* 通信作者 Corresponding author, E-mail: lkli@nwipb.cas.cn

成后稳定同位素的改变情况还不清楚;另一个则是关于野生鸟类不同组织的稳定同位素周转率的信息很少(Hobson & Clark, 1992a)。了解食物与组织间稳定同位素分馏系数,对于通过测量消费者组织中稳定同位素组成,预测食物中稳定同位素组成非常重要,而掌握组织中稳定同位素的周转率,对于推测动物将食物中稳定同位素信息整合到动物组织所需的时间非常重要(Cruz *et al.*, 2005)。

## 1 相关假说

### 1.1 蛋白周转假说

蛋白周转假说(protein turnover hypothesis)认为,动物组织中稳定同位素周转率的增加是由于蛋白质周转率的增加所致,因为高蛋白质周转的组织具有较高的代谢速率,而动物组织代谢速率与组织稳定同位素转换速率是一种潜在联系,即高代谢速率的动物具有较高的稳定同位素合成速率,这种高代谢速率实际上是蛋白质消耗周转的中介(Carleton & del Rio, 2005),蛋白质的周转率影响着组织稳定同位素的周转率(Bauchinger *et al.*, 2010)。

### 1.2 能量消耗假说

能量消耗假说(energy expenditure hypothesis)认为,具有相同能量消耗速率的组织具有相似的稳定同位素周转率(Bauchinger *et al.*, 2010)。寒冷环境下的产热需求通过表型体质量的改变和特定组织活动的增加来满足,2种不同的生理过程影响特定组织中稳定同位素的周转率,处在寒冷环境下的动物通过增强特定组织的活动来提高产热需求,进而应对低温环境。能量消耗假说的应用具有一定的局限性,它是指当生物体和组织的代谢速率均提高时,稳定同位素的周转率才会提高,即总代谢速率影响稳定同位素的周转率(Bearhop *et al.*, 2002)。

## 2 研究方法

对于可控实验来说,一般通过改变喂养动物食物中的 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ 或饮用水中的 $\delta^{18}\text{O}$ 、 $\delta\text{D}$ 含量来测量周转率(Storm-Suke *et al.*, 2012),具体实验步骤为:首先用一种稳定同位素比值固定的食物饲养动物一段时间,使动物组织中稳定同位素比值与食物中稳定同位素比值达到平衡,然后改变动物的食物,饲喂另一种稳定同位素比值的食物,分别在食物改变的第0天、第2天、第4天、第8天、第16天、第27天进行组织采样,测量其稳定同位素比值,进而利用模型推算出不同组织的稳定同位素周转时间(Hobson & Clark, 1993),其中应用的模型有2种:

一种是标准一阶动力学方程:

$$y_t = y_\infty + a e^{(-t/\tau)}$$

$y_t$ 指在 $t$ 时刻测量的组织稳定同位素( $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ 、 $\delta^{18}\text{O}$ 或 $\delta\text{D}$ )比值, $y_\infty$ 指改变食物后,动物组织中稳定同位素再次平衡后测量的稳定同位素比值, $a$ 指每一段时间的稳定同位素差值, $\tau$ 指平均稳定同位素保留时间(用来描述稳定同位素周

转), $t$ 指改变食物后的时间。周转半周期为 $t_{\text{half-life}} = \ln(2) \times \tau$ ,即组织稳定同位素比值达到平衡时稳定同位素比值一半时所需的时间(Tsahar *et al.*, 2008; Bauchinger *et al.*, 2010)。

另一种时间模型是:

$$y_t = y_\infty + a(p_1)e^{(-t/\tau_1)} + a(1-p_2)e^{(-t/\tau_2)}$$

$p_1$ 、 $p_2$ 指每一阶段所占比例, $\tau_1$ 、 $\tau_2$ 指每一阶段平均的碳保留时间(Bauchinger *et al.*, 2010)。

对于野生鸟类来说,其组织稳定同位素周转率的研究,往往是通过测量刚刚到达繁殖地的鸟类组织中稳定同位素比值和几周后同一个体相同组织中稳定同位素比值,推断该个体的组织中稳定同位素的周转率。在橙尾鸫鸙 *Setophaga ruticilla* 的野外研究中,通过比较测量刚刚到达繁殖地的橙尾鸫鸙和到达繁殖地1个月后的同一个体血液中的 $\delta^{13}\text{C}$ 值,发现刚刚到达个体血液中的 $\delta^{13}\text{C}$ 值明显高于1个月后的,推断出橙尾鸫鸙血液中 $\delta^{13}\text{C}$ 至少需要1个月的时间才能与当地食物中 $\delta^{13}\text{C}$ 值达到平衡(Norris *et al.*, 2005)。刚刚到达繁殖地的比氏夜鸫 *Catharus bicknelli* 和斯氏夜鸫 *C. ustulatus* 红细胞中 $\delta\text{D}$ 值反映的是非繁殖地的混合信息,周转半周期分别为21 d和14 d,从而推测出血液一般需要1个月才能与当地 $\delta\text{D}$ 值达到平衡(McKinnon *et al.*, 2012)。

## 3 影响周转率的因素

传统的稳定同位素周转率研究较为重视同一物种不同组织类型周转率的差异(Hobson & Clark, 1992a; Rubenstein & Hobson, 2004; McKinnon *et al.*, 2012),然而最新的研究表明,影响稳定同位素周转率的因素并不只是不同组织之间的差异,物种、性别、体型、环境等多种因素都会影响稳定同位素的周转率(Ferrari *et al.*, 2006; Storm-Suke *et al.*, 2012; Rock *et al.*, 2013)。

### 3.1 组织类型

不同类型组织中稳定同位素的周转率不同,一般被解释为由于组织代谢速率不同而导致不同组织具有不同的稳定同位素周转率。肝脏中 $\delta^{13}\text{C}$ 周转半周期为2.6~12 d,肌肉中 $\delta^{13}\text{C}$ 周转半周期为12.4~29 d,血浆中 $\delta^{13}\text{C}$ 周转半周期为1~5 d, $\delta^{15}\text{N}$ 为1~7 d,血细胞中 $\delta^{13}\text{C}$ 周转半周期为15.6~29.8 d, $\delta^{15}\text{N}$ 为24~31 d, $\delta\text{D}$ 为14~21 d,血液中 $\delta^{13}\text{C}$ 周转半周期为5.3~15.7 d, $\delta^{15}\text{N}$ 为10~14 d,卵壳的稳定同位素比值反映的是产卵前3~5 d的食物信息,卵黄反映的是产卵前8 d的食物信息,卵壳膜中稳定同位素周转时间为产卵前20 h的食物信息,卵清为3.2 d,卵黄为6 d,外部卵黄为3.1 d,内部卵黄为13.3 d(Hobson, 1995; Bearhop *et al.*, 2002; Hobson & Bairlein, 2003; Ogden *et al.*, 2004; Norris *et al.*, 2005; Hahn *et al.*, 2012; Giardina *et al.*, 2014)。

实验表明,周转率为:小肠>沙囊、胰腺、肝脏、肾脏>前胃和心脏>血液>腿肌>骨骼。斑胸草雀 *Taeniopygia guttata* 的研究结果显示 $\delta^{13}\text{C}$ 周转半周期:小肠7 d左右,沙囊、胰腺、肾脏、肝脏8~12 d,前胃和心脏10~18 d,红血球和飞行

肌 16 ~ 24 d, 腿肌 26 ~ 29 d (Hobson & Clark, 1992a; Bauchinger & McWilliams, 2009; Bauchinger *et al.*, 2010); 宽尾煌蜂鸟 *Selasphorus platycercus* 能量储存物质糖中  $\delta^{13}\text{C}$  的周转半周期为 1 ~ 2 d (Carleton *et al.*, 2006); 黑喉蓝林莺 *Dendroica caerulescens* 小肠中  $\delta^{13}\text{C}$  的周转半周期为 7 d, 前胃和心脏为 10 ~ 18 d (Hobson & Clark, 1992a; Bauchinger & McWilliams, 2009; Bauchinger *et al.*, 2010); 骨骼中稳定同位素周转时间最长; 日本鹌鹑 *Coturnix japonica* 骨胶原中  $\delta^{13}\text{C}$  周转半周期为 173.3 d (Hobson & Clark, 1992a), 鸡肝脏为 2.6 d, 肌肉为 12.4 d (Cruz *et al.*, 2005); 黑腹滨鹬 *Calidris alpina* 全血中  $\delta^{13}\text{C}$  平均周转半周期为 24.8 d,  $\delta^{15}\text{N}$  为 20 d (Ogden *et al.*, 2004); 南非企鵝 *Spheniscus demersus* 血浆中  $\delta^{15}\text{N}$  的周转半周期为 15.2 d, 血细胞为 24.6 d (Barquete *et al.*, 2013)。

### 3.2 物种

不同物种相同组织中稳定同位素的周转半周期不同。日本鹌鹑肝脏中  $\delta^{13}\text{C}$  的周转半周期为 2.6 d, 而黑喉蓝林莺的为 8 ~ 12 d; 日本鹌鹑肌肉中  $\delta^{13}\text{C}$  的周转半周期为 12.4 d, 而黑喉蓝林莺的飞行肌中为 16 ~ 24 d, 腿肌中为 26 ~ 29 d (Hobson & Clark, 1992a; Bauchinger & McWilliams, 2009; Bauchinger *et al.*, 2010); 黑喉蓝林莺血浆中  $\delta^{13}\text{C}$  的周转半周期为 24.8 h (Podlesak *et al.*, 2005), 短嘴鸦 *Corvus brachyrhynchos* 的为 2.9 d (Hobson & Clark, 1993), 4 种食草水鸟的为 4.3 d (Hahn *et al.*, 2012); 黄腰林莺 *Dendroica coronata* 血浆中  $\delta^{15}\text{N}$  的周转半周期为 1 ~ 3.4 d (Pearson *et al.*, 2003), 饲喂高蛋白食物的白眶鸻 *Pycnonotus xanthopygos* 的为 3 d, 饲喂低蛋白食物的为 5 d (Tsahar *et al.*, 2008), 野生橙尾鸫至少需要 7 d 才能将繁殖地的食物成分合成到血浆中 (Norris *et al.*, 2005); 家麻雀 *Passer domesticus* 血细胞中  $\delta^{13}\text{C}$  的周转半周期为 15.6 d (Carleton & del Rio, 2005), 黑喉蓝林莺的为 16 ~ 24 d (Bauchinger *et al.*, 2010), 短嘴鸦的为 29.8 d (Hobson & Clark, 1993), 4 种食草水鸟的为 32 d (Hahn *et al.*, 2012); 家麻雀血细胞中  $\delta^{15}\text{N}$  的周转半周期为 24 d (Carleton & del Rio, 2005), 饲喂高蛋白食物的黑喉蓝林莺的为 14 d, 饲喂低蛋白食物的为 21 d (Tsahar *et al.*, 2008); 比氏夜鸫和斯氏夜鸫血细胞中  $\delta\text{D}$  的周转半周期分别为 21 d 和 14 d (McKinnon *et al.*, 2012)。日本鹌鹑血液中稳定同位素的周转半周期为 11.4 d (Hobson & Clark, 1992a), 雀形目 Passeriformes 的为 7 d (Norris *et al.*, 2005), 北贼鸥 *Catharacta skua* 血液中  $\delta^{15}\text{N}$  的周转半周期为 14 d,  $\delta^{13}\text{C}$  的周转半周期为 15.7 d (Bearhop *et al.*, 2002), 黑腹滨鹬血液中  $\delta^{13}\text{C}$  的周转半周期为 11.2 d,  $\delta^{15}\text{N}$  的为 10 d (Ogden *et al.*, 2004)。

### 3.3 性别

研究表明不同性别的动物组织中稳定同位素比值不同, 雄性稳定同位素比值较雌性贫化。对于野生动物而言, 性别不同的个体由于冬季栖息地利用的不同导致血细胞中的  $\delta^{13}\text{C}$  不同, 例如雄性橙尾鸫由于主要占据高质量的栖息地环境, 相比主要占据低质量栖息地的雌性来说,  $\delta^{13}\text{C}$  更贫化 (Norris *et al.*, 2005)。可控实验  $\delta\text{D}$  周转率的研究同样表明, 性别对于羽毛和血浆中稳定同位素有明显的影响, 雄性个体

血浆中  $\delta\text{D}$  相对雌性个体贫化 (Hobson & Clark, 1992b)。

### 3.4 个体生理状态

动物所处的状态不同, 其组织中的稳定同位素比值不同, 例如禁食、怀孕、产卵、迁徙以及换羽会影响组织中  $\delta^{13}\text{C}$  的周转率 (Cherel *et al.*, 2005)。处于特定生理状态下的生物个体通过提高蛋白质周转和能量代谢速率改变组织中稳定同位素比值 (Bauchinger *et al.*, 2010)。相比于家养鸟类, 野生鸟类的组织周转率要快, 一般被解释为野生鸟类的新陈代谢速率通常高于基础新陈代谢速率, 进而推断出野生鸟类组织中稳定同位素周转率高于人工养殖的鸟类组织中的 (Hobson & Clark, 1992b)。

运动对组织中  $\delta^{13}\text{C}$  周转率的影响, 不同的研究具有不同的结果: 对紫翅椋鸟 *Sturnus vulgaris* 的研究表明, 红血球中  $\delta^{13}\text{C}$  的周转率与运动无关 (Hobson & Johannes, 2007)。而另一份研究结果表明每天重复锻炼降低了鸟类飞行肌的质量, 而飞行肌质量的降低增强了飞行效率, 飞行肌通过改变其组成来维持必要的能量输出, 以应对繁殖产卵、禁食、迁徙飞行等状况, 这种改变一旦发生, 可能因为在  $\delta^{13}\text{C}$  周转中某一物质的改变, 导致整个肌肉中  $\delta^{13}\text{C}$  的周转率的改变 (Bauchinger *et al.*, 2010)。

不同体型和体质量的动物稳定同位素的周转率不同, 体型较小的动物的稳定同位素周转率快, 一般被解释为体型较小的生物体代谢速率高于大型动物 (Hobson & Clark, 1992b)。例如体质量 55 g 的黑腹滨鹬血液中稳定同位素的周转率 > 1 200 g 帆背潜鸭 *Aythya valisineria* > 1 220 g 北贼鸥 (Norris *et al.*, 2005)。最近的研究显示, 动物体质量对于全血中  $\delta^{13}\text{C}$  的周转率的贡献为 -0.25 (Bauchinger *et al.*, 2010)。

### 3.5 环境条件

温度可以通过影响组织代谢进而影响组织中稳定同位素的周转率。有关双色树燕 *Tachycineta bicolor* 的研究表明, 高温可以加快散热过程中的水分丢失, 进而提高雏鸟组织中的  $\delta\text{D}$  值 (Betini *et al.*, 2009); 有关日本鹌鹑的研究显示, 低温条件下血浆中  $\delta\text{D}$  的周转率高于常温条件 (Storm-Suke *et al.*, 2012)。而低温对  $\delta^{15}\text{N}$ 、 $\delta^{13}\text{C}$  的周转率影响与对  $\delta\text{D}$  周转率影响的结果大不相同: 有关低温对于家麻雀红血球中  $\delta^{15}\text{N}$  和  $\delta^{13}\text{C}$  的周转率影响的研究表明, 低温对  $\delta^{15}\text{N}$  的周转率无影响, 而对  $\delta^{13}\text{C}$  的周转率有较小的影响 (Carleton & del Rio, 2005); 对于斑胸草雀的研究表明, 持续低温环境适应影响组织中  $\delta^{13}\text{C}$  的周转率, 鸟类通过增加飞行肌内线粒体容积、密度、毛细血管直径以及细胞色素 C 氧化酶数量进行颤栗产热, 这种与肌纤维蛋白有关的肌质蛋白的增加将导致  $\delta^{13}\text{C}$  的周转率组织特异性增加 (Bauchinger *et al.*, 2010); 有关日本鹌鹑的研究显示, 日照时长通过影响日本鹌鹑体内蛋白质的转换速率进而影响组织中稳定同位素的周转率 (Boon *et al.*, 2001); 海拔影响黑喉蓝林莺肝脏和肌肉中  $\delta^{13}\text{C}$  周转率 (Graves & Romanek, 2009)。

### 3.6 食物

饲喂不同食物的动物组织中稳定同位素的周转率不同, 吸收复杂营养元素相对于吸收简单糖类的快, 造成这一结果

的原因可能是同位素印迹现象,即食物进入动物组织时,不同同位素比值的食物会直接进入动物的特定组织或部位(林光辉,2013)。食物中的蛋白质水平控制着稳定同位素周转率,饲喂高蛋白物质的鸟类血细胞和血浆中的 $\delta^{15}\text{N}$ 周转半周期为14 d和3 d,而饲喂低蛋白物质的周转半周期为21 d和5 d(Tsahar *et al.*,2008)。有关鸡肝脏、胸肌中 $\delta^{13}\text{C}$ 周转率的研究显示,食物中 $\delta^{13}\text{C}$ 的含量影响鸡生长过程中相应组织中 $\delta^{13}\text{C}$ 的周转率。饲喂C3植物的动物稳定同位素周转率相对于饲喂C4植物的快(Cruz *et al.*,2005)。有研究指出核苷酸可以加速肠黏膜组织对损伤部位的修复,进而推断出食物中核苷酸含量影响肠黏膜 $\delta^{13}\text{C}$ 的周转率(Pelicia *et al.*,2011)。

#### 4 展望

动物组织中稳定同位素的组成反映食物中稳定同位素的信息(Phillips & Eldridge,2006)。当我们知道不同组织的周转率时,便可以选择特定的组织进行相关问题的研究。动物组织中稳定同位素的周转率的差异来源是日后利用稳定同位素技术进行鸟类生态学研究时需要注意的事项,不同物种间相同组织中稳定同位素比值有无差异,性别、生理状态、环境条件以及不同食物对动物组织中稳定同位素的周转率有无影响,有待进一步研究。

#### 参考文献:

- 林光辉. 2013. 稳定同位素生态学[M]. 北京: 高等教育出版社: 181.
- 易现峰, 张晓爱. 2005. 稳定性同位素技术在生态学上的应用[J]. 生态学杂志, 3: 306-314.
- Barquete V, Strauss V, Ryan PG. 2013. Stable isotope turnover in blood and claws: a case study in captive African penguins [J]. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 448: 121-127.
- Bauchinger U, Keil J, McKinney RA, *et al.* 2010. Exposure to cold but not exercise increases carbon turnover rates in specific tissues of a passerine [J]. *Journal of Experimental Biology*, 213: 526-534.
- Bauchinger U, McWilliams S. 2009. Carbon turnover in tissues of a Passerine bird; allometry, isotopic clocks, and phenotypic flexibility in organ size [J]. *Physiological and Biochemical Zoology*, 82: 787-797.
- Bearhop S, Waldron S, Votier SC, *et al.* 2002. Factors that influence assimilation rates and fractionation of nitrogen and carbon stable isotopes in avian blood and feathers [J]. *Physiological and Biochemical Zoology*, 75: 451-458.
- Betini GS, Hobson KA, Wassenaar LI, *et al.* 2009. Stable hydrogen isotope ( $\delta^2\text{H}$ ) values in songbird nestlings: effects of diet, temperature, and body size [J]. *Canadian Journal of Zoology*, 87: 767-772.
- Boon P, Watt PW, Smith K, *et al.* 2001. Day length has a major effect on the response of protein synthesis rates to feeding in growing Japanese quail [J]. *Journal of Nutrition*, 131: 268-275.
- Carleton SA, Bakken BH, del Rio CM. 2006. Metabolic substrate use and the turnover of endogenous energy reserves in broad-tailed hummingbirds (*Selasphorus platycercus*) [J]. *Journal of Experimental Biology*, 209: 2622-2627.
- Carleton SA, del Rio CM. 2005. The effect of cold-induced increased metabolic rate on the rate of ( $^{13}\text{C}$ ) and ( $^{15}\text{N}$ ) incorporation in house sparrows (*Passer domesticus*) [J]. *Oecologia*, 144: 226-232.
- Cherel Y, Hobson KA, Bailleul FR, *et al.* 2005. Nutrition, physiology, and stable isotopes: new information from fasting and molting penguins. ecology [J]. *Ecology*, 86: 2881-2888.
- Cruz VC, Ducatti C, Pezzato AC, *et al.* 2005. Influence of diet on assimilation and turnover of C-13 in the tissues of broiler chickens [J]. *British Poultry Science*, 46: 382-389.
- Ferrari RP, Martinelli R, Saino N. 2006. Differential effects of egg albumen content on barn swallow nestlings in relation to hatch order [J]. *Journal of Evolutionary Biology*, 19: 981-993.
- Giardina MA, Neme GA, Gil AF. 2014. Rheidae egg human exploitation and stable isotopes: trends from west central Argentina [J]. *International Journal of Osteoarchaeology*, 24: 166-186.
- Graves GR, Romanek CS. 2009. Mesoscale patterns of altitudinal tenancy in migratory wood warblers inferred from stable carbon isotopes [J]. *Ecological Applications*, 19: 1264-1273.
- Hahn S, Hoyer BJ, Korthals H, *et al.* 2012. From food to offspring down: tissue-specific discrimination and turn-over of stable isotopes in herbivorous waterbirds and other avian foraging guilds [J/OL]. [2016-08-01]. *PLoS ONE*, 7(2): e30242. DOI:10.1371/journal.pone.0030242.
- Hobson KA, Bairlein NF. 2003. Isotopic fractionation and turnover in captive garden warblers (*Sylvia borin*): implications for delineating dietary and migratory associations in wild passerines [J]. *Canadian Journal of Zoology-Revue Canadienne De Zoologie*, 81: 1630-1635.
- Hobson KA, Clark RG. 1992a. Assessing avian diets using stable isotopes. 1. turnover of C-13 in tissues [J]. *The Condor*, 94: 181-188.
- Hobson KA, Clark RG. 1992b. Assessing avian diets using stable isotopes. 2. factors influencing diet-tissue fractionation [J]. *The Condor*, 94: 189-197.
- Hobson KA, Clark RG. 1993. Turnover of C-13 in cellular and plasma for fractions of blood-implications for nondestructive sampling in avian dietary studies [J]. *Auk*, 110: 638-641.
- Hobson KA, Yohannes E. 2007. Establishing elemental turnover in exercising birds using a wind tunnel; implications for stable isotope tracking of migrants [J]. *Canadian Journal of Zoology-Revue Canadienne De Zoologie*, 85: 703-708.
- Hobson KA. 1995. Reconstructing avian diets using stable-carbon and nitrogen isotope analysis of egg components-patterns of isotopic fractionation and turnover [J]. *The Condor*, 97: 752-762.
- Hobson KA. 1999. Tracing origins and migration of wildlife using stable isotopes: a review [J]. *Oecologia*, 120: 314-326.
- McKinnon EA, Fraser KC, Diamond AW, *et al.* 2012. Stable-hydrogen isotope turnover in red blood cells of two migratory thrushes: application to studies of connectivity and carry-over effects [J]. *Journal of Field Ornithology*, 83: 306-314.
- Norris DR, Marra PP, Kyser TK, *et al.* 2005. Tracking habitat use of a long-distance migratory bird, the American redstart *Setophaga ruticilla*, using stable-carbon isotopes in cellular blood [J]. *Journal of Avian Biology*, 36: 164-170.
- Ogden LJE, Hobson KA, Lank DB. 2004. Blood isotopic ( $\delta^2\text{H}$ -C-13

- and delta N-15) turnover and diet-tissue fractionation factors in captive dunlin (*Calidris alpina pacifica*) [J]. *Auk*, 121: 170-177.
- Pearson SF, Levey DJ, Greenberg CH, *et al.* 2003. Effects of elemental composition on the incorporation of dietary nitrogen and carbon isotopic signatures in an omnivorous songbird [J]. *Oecologia*, 135: 516-523.
- Pelicia VC, Zavarize KC, Ducatti C, *et al.* 2011. Nucleotides in broilers challenged diet and its effects on intestinal mucosa turnover rate before and after injuries caused by coccidiosis [J]. *Ciencia Rural*, 41: 1652-1659.
- Phillips DL, Eldridge PM. 2006. Estimating the timing of diet shifts using stable isotopes [J]. *Oecologia*, 147: 195-203.
- Podlesak DW, McWilliams SR, Hatch KA. 2005. Stable isotopes in breath, blood, feces and feathers can indicate intra-individual changes in the diet of migratory songbirds [J]. *Oecologia*, 142: 501-510.
- Rock L, Rowe S, Czerwicz A, *et al.* 2013. Isotopic analysis of eggs: evaluating sample collection and preparation [J]. *Food Chemistry*, 136: 1551-1556.
- Rubenstein DR, Hobson KA. 2004. From birds to butterflies: animal movement patterns and stable isotopes [J]. *Trends in Ecology & Evolution*, 19: 256-263.
- Storm-Suke A, Wassenaar LI, Nol E, *et al.* 2012. The influence of metabolic rate on the contribution of stable-hydrogen and oxygen isotopes in drinking water to quail blood plasma and feathers [J]. *Functional Ecology*, 26: 1111-1119.
- Tsahar E, Wolf N, Izhaki I, *et al.* 2008. Dietary protein influences the rate of N-15 incorporation in blood cells and plasma of yellow-vented bulbuls (*Pycnonotus xanthopygos*) [J]. *Journal of Experimental Biology*, 211: 459-465.

传播科学信息的媒介 开展学术交流的平台

欢迎订阅 2017 年第 36 卷 **四川动物** 杂志

**四川动物** 杂志系四川省动物学会、成都大熊猫繁育研究基金会、四川省野生动植物保护协会和四川大学联合主办,创刊于 1981 年,系国内外公开发行的动物学学术性刊物,主要报道和交流动物学及其分支学科和野生动物保护方面的基础研究、应用基础研究的成果、理论、经验和动态;普及与提高相结合,基础性与应用性并重。先后为《中文核心期刊要目总览(2004 年版、2008 年版、2011 年版、2014 年版)》核心期刊、中国科技核心期刊(中国科技论文统计源期刊),被中国科学引文数据库、中国学术期刊综合评价数据库、中国生物学文摘数据库、中国生物医学文献数据库、中文科技期刊数据库(维普资讯网)、中国学术期刊(光盘版)、中国期刊网(中国知网)、万方数据系统(中国数字化期刊群)、台湾中文电子期刊思博网及英国 Zoological Record 文摘数据库收录。

● **主要栏目:** 研究报告、基础资料、野生动物保护与自然保护区、实验动物与动物实验、教学探索、综述与进展。

● **读者对象:** 广大从事动物学、生物学和野生动物保护方面的科研、教学、管理、医卫等科技工作者,有关院校师生和业余爱好者。

● **双月刊,** 大 16 开, 每期 164 页, 精印彩色封面, 逢单月末出版, 2017 年全年 6 期国内定价 300 元(每期 50 元), 国外为每期 20 美元, 全年 120 美元。

● **订阅办法:** 从邮局汇款至本刊编辑部, 写清订阅人姓名、地址、邮编, 附言订阅数量即可。

电话/传真: 028-85410485 15881112385

电子邮件: scdwzz001@163.com scdwzz@vip.163.com

邮局汇款: 四川省成都市望江路 29 号四川大学生命科学学院内《四川动物》编辑部

邮政编码: 610064

银行汇款: 开户银行: 中国工商银行四川分行营业部东大支行

户名: 四川省动物学会

帐号: 4402298009000012596