

# 雅鲁藏布大峡谷羚牛牙齿珐琅质碳、氧同位素组成及其环境意义

李玉梅<sup>1,2</sup>, 刘东生<sup>2</sup>, 洪 冰<sup>3</sup>, 储国强<sup>2</sup>, 洪业汤<sup>3</sup>, 朱咏煊<sup>3</sup>,  
彭建华<sup>3</sup>, 董丽敏<sup>3</sup>, 韩家懋<sup>2</sup>

(1. 中国科学院研究生院计算地球动力学实验室, 北京 100049; 2. 中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029; 3. 中国科学院地球化学研究所, 贵州 贵阳 550002)

**摘要:** 以雅鲁藏布大峡谷的羚牛为主要研究对象, 讨论其牙齿珐琅质羟基磷灰石结构碳酸盐的碳、氧同位素组成与生活环境之间的关系。羚牛牙齿的碳同位素组成分布范围相当宽, 且随着栖息地海拔高度的增加而变重, 反映了食谱中 C<sub>4</sub> 植物从无到有、由少到多的变化趋势。C<sub>4</sub> 植物含量最高可能达到 70%。这一变化与当地自然带的划分相吻合。羚牛牙齿珐琅质结构碳酸盐的 δ<sup>18</sup>O 值分布范围较窄, 与海拔高度之间没有明显的相关性。氧同位素分馏可能与水源和物种均有关。

**关键词:** 雅鲁藏布; 羚牛; 碳同位素; 氧同位素; C<sub>4</sub> 植物

**中图分类号:** X142      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1000-0690(2009)06-0917-06

食草动物牙齿的羟基磷灰石中结合了少量 CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> (称作结构碳酸盐)<sup>[1]</sup>, 形成 Ca<sub>10</sub>(PO<sub>4</sub>, CO<sub>3</sub>)<sub>6</sub>(OH, CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> (碳酸羟基磷灰石, carbonate hydroxylapatite), 其碳同位素组成反映了动物食谱中 C<sub>3</sub>、C<sub>4</sub> 植物的比例<sup>[2~8]</sup>; 氧同位素组成则与大气降水和地下水有关<sup>[9]</sup>。20 世纪末期, Cerling 等据此提出了晚中新世 C<sub>4</sub> 植物大扩张说<sup>[5]</sup>, 邓涛等<sup>[1, 6, 7, 10, 11]</sup> 则重点研究了中国的食草动物牙齿化石和现代食草动物牙齿, 探讨了古环境变化以及高海拔地区的现代 C<sub>4</sub> 植物分布等。

然而, 迄今为止, 用以确定动物牙齿 δ<sup>13</sup>C 值与其食谱相关性资料中, 来自中国大陆自然环境的数据仍较局限, 氧同位素资料则更少。若能够研究特定自然背景条件下的现生食草动物样本, 不仅可深入了解该物种生理生态特征, 还能进一步促进动物牙齿化石的同位素组成在古环境重建中的应用。因此, 本文选择雅鲁藏布大峡谷的现生代表性食草动物——野生羚牛 (*Budorcas taxicolor*) 为主要研究对象, 试图讨论其牙齿珐琅质结构碳酸盐的碳、氧同位素组成与生活环境之间的关系, 为古环境研究提供参考依据, 也为羚牛的生物学研究积累资料。

## 1 样品采集与分析

### 1.1 样品采集

雅鲁藏布大峡谷位于西藏自治区墨脱县境内, 地处印度板块与欧亚板块碰撞的缝合线的东端<sup>[12]</sup>, 雅鲁藏布江在此形成了著名的大转弯及极值深度达 6 009 m<sup>[13]</sup> 的大峡谷, 谷内发育着齐全的垂直自然带<sup>[14]</sup>, 建有墨脱国家级自然保护区。羚牛是其重要保护对象之一。

羚牛共有 4 个亚种: 秦岭亚种 (*B. t. bedfordi*)、四川亚种 (*B. t. tibetana*)、不丹亚种 (*B. t. whitei*)、指名亚种 (*B. t. taxicolor*)<sup>[15]</sup>。本文的研究对象即是生活在雅鲁藏布大峡谷的羚牛指名亚种。羚牛系中国 I 类保护动物<sup>[16]</sup>, 目前人们对其生活习性所知有限。现有研究地点多集中于秦岭和高黎贡山<sup>[17, 18]</sup>, 对墨脱的羚牛了解更少。

1998 年 10 ~12 月, 中国科学家对雅鲁藏布大峡谷进行了多学科考察, 并于 11 月份采集了栖息地海拔高度相差较大的 4 组现代羚牛牙齿样品以进行同位素测试, 同时采集了少量现代牦牛和犏牛样品供对比。其中, 牦牛非野生种, 犏牛系牦牛与

收稿日期: 2009-03-08; 修订日期: 2009-06-25

基金项目: 国家自然科学基金 (40772112; 40302034)、中国科学院研究生院院长基金 (065001D)、中国科学院环境地球化学国家重点实验室开放基金。

作者简介: 李玉梅 (1974 - ) 女, 黑龙江省肇源县人, 博士, 副教授, 第四纪地质学和地球化学专业。E-mail: liym@gucas.ac.cn

黄牛的一代杂交产物,均为当地人工饲养的动物。

另采集了北极 Svalbard 群岛的 2 个现代驯鹿 (*Rangifer tarandus*) 牙齿样本以供比较。

### 1.2 碳、氧同位素分析

以超声波清洗动物牙齿后,将不残留牙本质、牙骨质和齿表白垩的纯净珐琅质层剥下,在 0.1 M HAC 中浸泡 16 h,用蒸馏水淋洗,待干后在玛瑙研钵中研磨至 200 目,与 10% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 反应 16 h,反复淋洗并离心,再与 0.1 M HAC 反应 16 h;用蒸馏水淋洗多次并离心干燥后,置于 70 °C 的纯 H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> 中 6 h,纯化释放的气体<sup>[41]</sup>,送入 MAT-252 质谱仪。同位素测试结果分别以 δ<sup>3</sup>C<sub>PDB</sub>、δ<sup>18</sup>O<sub>PDB</sub> 表示:

$$\delta^3C_{PDB} (\text{‰}) = \left[ \left( \frac{^{13}C}{^{12}C} \right)_{\text{样品}} / \left( \frac{^{13}C}{^{12}C} \right)_{\text{标准}} - 1 \right] \times 1000;$$

$$\delta^{18}O_{PDB} (\text{‰}) = \left[ \left( \frac{^{18}O}{^{16}O} \right)_{\text{样品}} / \left( \frac{^{18}O}{^{16}O} \right)_{\text{标准}} - 1 \right] \times 1000.$$

实验误差 < +0.2 ‰。实验在中国科学院地球化学研究所环境地球化学国家重点实验室完成。

## 2 结果与讨论

### 2.1 碳同位素组成及其环境意义

1) 测试结果。羚牛牙齿样本的碳同位素组成范围相当宽(图 1): δ<sup>3</sup>C 最小值为 -19.3 ‰(PDB 标准,下同),最大值为 -2.2 ‰。就平均值而言,采自海拔 1 300 m 处的 3 个样本,测得的 δ<sup>3</sup>C 平均值为 -19.1 ‰;而采自海拔 3 000 m 处的样本,δ<sup>3</sup>C 平均值则重达 -3.4 ‰。牦牛的 δ<sup>3</sup>C 平均值居中,分别为 -10.5 ‰(1 100 m)和 -14.0 ‰(820 m);犏牛为 -11.0 ‰(800 m)。

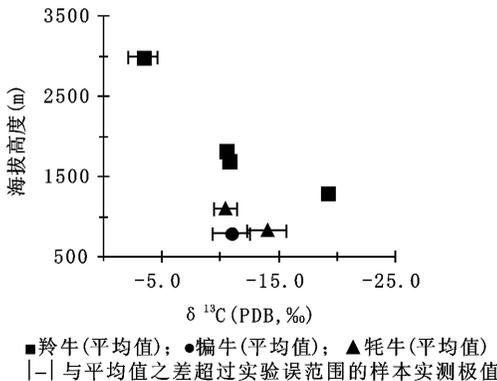


图 1 雅鲁藏布大峡谷现代动物牙齿珐琅质 δ<sup>3</sup>C 值  
Fig. 1 δ<sup>3</sup>C values of modern herbivores tooth enamel from the Yarlung Zangbo Grand Canyon

2) 碳同位素与 C<sub>4</sub> 植物。总体上,羚牛牙齿珐琅质结构碳酸盐的碳同位素的组成随着海拔高度的增加而变重。这最有可能与其栖息地的植物组成有关。

Cerling 等编制了判定食草动物牙齿碳同位素组成与食谱中 C<sub>3</sub>、C<sub>4</sub> 植物比例关系的图表<sup>[41]</sup>。将本文所测碳同位素数据投点在该图上,即可求得相应的动物食谱中 C<sub>3</sub> 植物含量变化范围。据此作出区内动物食谱中 C<sub>3</sub> 植物含量与海拔高度的关系图(图 2)。可以看出,随着海拔高度的增加,羚牛食谱中的 C<sub>4</sub> 植物具有从无到有、从少到多的变化趋势。在海拔 1 300 m 处,食谱中几乎全部是 C<sub>3</sub> 植物,不含 C<sub>4</sub> 植物;海拔 1 700 ~1 800 m 处,食谱仍以 C<sub>3</sub> 植物为主,含有少量 C<sub>4</sub> 植物 (<20 ‰);至海拔 3 000 m 处,C<sub>3</sub> 植物在羚牛食物中的百分含量大为下降,仅占 37 ‰ ~64 ‰,最大波动范围不超过 30 ‰ ~72 ‰;而 C<sub>4</sub> 植物含量则可能高达 70 ‰。那么,由 δ<sup>3</sup>C 值求得的食谱能否真实地反映羚牛生活环境中的植被情况呢?

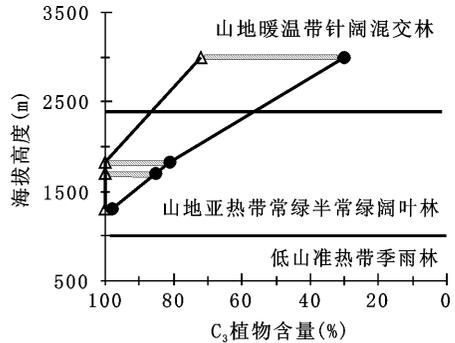


图 2 C<sub>3</sub> 植物在羚牛食谱中的百分含量  
Fig. 2 C<sub>3</sub>-plant contents in diet of takin

根据前人的划分和描述<sup>[19~24]</sup>,本文涉及的动物主要来自以下几个自然带:

(1) 低山准热带季雨林带。海拔 1 000 m 以下,夏无酷暑,冬季少霜,年降水量 2 000 ~3 000 mm,植被高大茂密,种类繁多,林下阴暗潮湿。在这种环境中 C<sub>4</sub> 植物难以生长。同种 C<sub>3</sub> 植物的碳同位素组成也会较多数地区偏轻。(2) 山地亚热带常绿半常绿阔叶林带。海拔 1 000 ~2 400 m,气候温热,湿度很大,除乔木外,藤本植物、竹类和苔藓遍布,林冠以下木兰科植物、草本植物和蕨类植物发育。

这种环境对 C<sub>4</sub> 植物的生长也不是很有利。

(3) 山地暖温带针阔混交林带和亚高山寒温带针叶林带。海拔 2 400 ~4 000 m, 夏季雨量集中, 冬季厚雪覆盖, 林下草本植物及苔藓稠密。

这一植被带虽然乔木发育, 郁闭程度也比较高, 但较之前两个自然带还是要差得多, 且海拔在 3 000 m 以下地段气温仍较高, 夏季雨量集中, 适合 C<sub>4</sub> 植物生长。在这种环境下, 草本植物中可能有一定的 C<sub>4</sub> 植物生存。

因此, 羚牛牙齿碳同位素组成的变化, 既反映了这些个体食谱 C<sub>3</sub> 植物和 C<sub>4</sub> 植物比例的不同, 又体现了光合作用类型相同的植物在不同环境中碳同位素组成的分异。在低海拔的准热带季雨林边缘, 气候温暖, 林下阴暗潮湿, 不但 C<sub>4</sub> 植物难以生长, 连 C<sub>3</sub> 植物的碳同位素组成也会变得更轻。栖息于此的羚牛取食富集轻碳同位素的 C<sub>3</sub> 植物, 其牙齿珐琅质的碳同位素组成会愈加偏轻。而生活于海拔 3 000 m 处的羚牛, 栖息地为山地暖温带针阔混交林或亚高山寒温带针叶林, 季节分明, 夏季降水集中, 故 C<sub>4</sub> 植物有可能在此生长。羚牛取食了 C<sub>4</sub> 植物而且量比较大, 就会在牙齿珐琅质的碳同位素组成中有所体现, 即富集重碳同位素。总而言之, 利用羚牛牙齿珐琅质结构碳酸盐的碳同位素组成可以推断其生活区植被的碳同位素组成。

值得注意的是, 在海拔 1 000 ~3 000 m 处, 青藏高原表土有机质 δ<sup>13</sup>C 值是随海拔高度的增加而减小的<sup>[25~27]</sup>, 说明在这一高度范围内 C<sub>4</sub> 植物含量是随着海拔高度的增加而减少的, 在低海拔地区可能蕴含着更加丰富的 C<sub>4</sub> 植物<sup>[25]</sup>, 本文的研究结果似乎与前人相反。

实际上, Lu 等<sup>[25]</sup>的工作区面积较大, 低海拔的表土样品主要采自张掖 - 敦煌 - 格尔木 - 昆仑山垭口一线, 地理位置偏北, 以草原、灌丛为主, 含少量荒漠、荒漠草原和森林, 地形开阔, 年降水量相对较低, 适合 C<sub>4</sub> 植物生长; 而随着海拔高度的增加, 温度的降低等因素使得 C<sub>4</sub> 植物生物量逐渐减小。

本研究区的情况则与此截然不同。雅鲁藏布大峡谷地理纬度较低, 如前所述, 由准热带季雨林, 向上递变为亚热带常绿半常绿阔叶林、山地暖温带针阔混交林带, 低海拔地区炎热潮湿, 郁闭程度高, 不适合 C<sub>4</sub> 植物生长; 随着海拔高度增加, C<sub>4</sub> 植物的生长环境才逐渐具备。因此, 本文与前人的研究结果不但不存在矛盾, 反而是高度一致的。

反之, 若地理纬度非常高, 年均温过低, C<sub>4</sub> 植

物无法生长, 而 C<sub>3</sub> 植物的碳同位素组成也会较中低纬地区偏轻, 将导致当地食草动物的牙齿珐琅质具有相当低的 δ<sup>13</sup>C 值。为验证这一推断, 本文用同样的分析方法对取自 Svalbard 群岛 (78 °N) 的 2 个驯鹿牙齿样本进行测试, 发现其 δ<sup>13</sup>C 值分别为 -20.2 ‰和 -17.8 ‰, 远较其他地区为低。这与前文论述完全相符。

牦牛和犏牛样品虽然采自低海拔的热带季雨林带, 理论上其食谱中应全部是 C<sub>3</sub> 植物, 不含 C<sub>4</sub> 植物, 但实际测得的 δ<sup>13</sup>C 值较此略偏重。这可能是人工饲养时冬季食谱中添加了少量 C<sub>4</sub> 植物所致。计算可知, 添加量并不大, 可能介于 0 ~19 ‰之间, 最多不超过 29 ‰。

### 2.2 氧同位素组成及其可能的影响因素

1) 测试结果。羚牛的牙齿样本实测 δ<sup>18</sup>O 的最小值为 -9.8 ‰(PDB 标准, 下同), 最大值则为 -5.7 ‰, 变化幅度不大。牦牛的 δ<sup>18</sup>O 平均值偏轻, 分别为 -13.6 ‰(1 100 m)和 -11.7 ‰(820 m); 犏牛较羚牛略偏重, 为 -5.3 ‰(800 m)。

2) 氧同位素与环境。如图 3 所示, 在本次研究中, 羚牛牙齿珐琅质结构碳酸盐的 δ<sup>18</sup>O 值比较接近, 与海拔高度之间没有明显的相关性。这可能是采样地区集中在雅鲁藏布江两岸, 水源相通造成的, 也可能与青藏高原南部各地区大气降水 δ<sup>18</sup>O 值较为接近有关<sup>[28]</sup>。

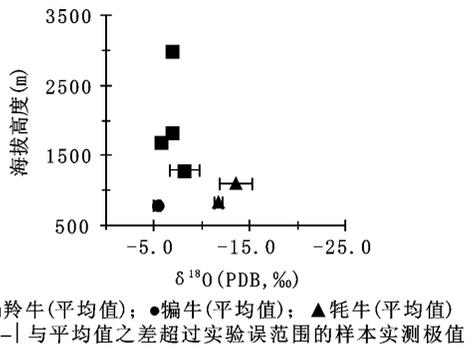


图 3 雅鲁藏布大峡谷现代动物牙齿珐琅质 δ<sup>18</sup>O 值  
Fig.3 δ<sup>18</sup>O values of modern herbivores tooth enamel from the Yarlung Zangbo Grand Canyon

相对而言, 牦牛的牙齿珐琅质结构碳酸盐的 δ<sup>18</sup>O 值略偏轻, 犏牛略偏重。这可能反映了动物体内氧同位素分馏的种间差异, 也可能是人工饲养为动物提供了特定水源所致。

### 2.3 关于羚牛生活习性的疑问与思考

在本次研究中, 羚牛牙齿样本间的  $\delta^{13}\text{C}$  值极值差达  $-17.1\%$ , 充分说明了动物个体之间食谱差异的存在, 是毋庸置疑的。然而, 一个不可回避的问题是: 动物的生活方式不同于植物, 它们的活动范围可能很大, 在甲地获得的动物样本, 可能取食了很多乙地的食源。这为利用碳氧同位素组成研究现代动物食谱造成了很多困扰。

对于羚牛家域的研究并不很多。已知陕西佛坪一组羚牛的年家域在  $35.12 \sim 98.15 \text{ km}^2$  之间, 平均  $56.18 \text{ km}^2$  [17]。秦岭和高黎贡山羚牛的迁徙行为在多篇文献中有所涉及, 但缺乏深入详细的报道 [18]。至于墨脱的羚牛, 资料更少, 其迁徙和取食规律目前尚难以明确。

从本次研究结果来看,  $\delta^{13}\text{C}$  值高达  $-17.1\%$  的极值差的存在可能暗示了这样的信息: 迁徙并没有导致羚牛食谱变得过于复杂甚至无章可循。羚牛个体的栖息和取食似乎具有一定的选择性和稳定性。

## 3 结 论

在雅鲁藏布江大峡谷, 羚牛牙齿珐琅质结构碳酸盐的碳同位素组成随着海拔高度的增加而变重。碳同位素组成的变化反映羚牛个体食谱  $\text{C}_3$  植物和  $\text{C}_4$  植物比例的不同。随着海拔高度的增加, 羚牛食谱中的  $\text{C}_4$  植物从无到有逐渐增加, 最高可能达到  $70\%$ 。北极 Svalbard 群岛的 2 个驯鹿牙齿样本  $\delta^{13}\text{C}$  值远较其他地区偏轻。这与研究区自然带的分布相吻合, 进一步验证了利用哺乳动物牙齿珐琅质羟基磷灰石结构碳酸盐恢复古环境的可行性。

人工饲养的牦牛和犏牛牙齿的  $\delta^{13}\text{C}$  值未落在羚牛的食谱带上, 可能是人为控制食物所致。

羚牛牙齿珐琅质结构碳酸盐的  $\delta^{18}\text{O}$  值比较接近, 与海拔高度之间没有明显的相关性。  $\delta^{18}\text{O}$  值的分布可能与水源和物种都有关。

致谢: 以姚建先生为代表的 1998 中国雅鲁藏布大峡谷科学探险考察队成员采集并鉴定动物牙齿样品; 刘丛强、王世杰、陶发祥、林庆华、安宁先生为同位素测试工作提供指导和帮助, 特此致谢。

## 参考文献:

[1] Deng T, Xue X, Dong J. The evidence of fossil carbon isotopes of the climatic event at the beginning of Quaternary [J]. Chinese

Science Bulletin, 1999, **44**: 477 - 480.

- [2] Morgan M E, Kingston J D, Marino B D. Carbon isotopic evidence for the emergence of  $\text{C}_4$  plants in the Neogene from Pakistan and Kenya [J]. Nature, 1994, **367**: 162 - 165.
- [3] Quade J, Cerling T E, Barry J C, et al. A 16 - Ma record of paleodiet using carbon and oxygen isotopes in fossil teeth from Pakistan [J]. Chemical Geology, 1992, **94**: 183 - 192.
- [4] Cerling T E, Harris J M, MacFadden B J. Carbon isotopes, diets of north American equids and the evolution of north American  $\text{C}_4$  grasslands [M]. // Griffiths ed. Stable isotopes. Oxford: BIOS Scientific Publishers Ltd, 1998: 363 - 379.
- [5] Cerling T E. Paleorecords of  $\text{C}_4$  plant and ecosystems [M]. // Sage B F, Monson R K ed.  $\text{C}_4$  plant biology. San Diego: Academic Press, 1999: 445 - 472.
- [6] Deng T, Dong J, Wang Y. Variation of terrestrial ecosystem recorded by stable carbon isotopes of fossils in northern China during the Quaternary [J]. Chinese Science Bulletin, 2002, **47** (1): 76 - 78.
- [7] Deng Tao, Li Yumei. Vegetational ecotype of the Gyirong Basin in Tibet, China and its response in stable carbon isotopes of mammal tooth enamel [J]. Chinese Science Bulletin, 2005, **50** (12): 1225 - 1229.
- [8] Wang Y, Cerling T E, MacFadden B J. Fossil horses and carbon isotopes: new evidence for Cenozoic dietary, habitat, and ecosystem changes in North America [J]. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 1994, **107**: 269 - 279.
- [9] Bocherens H, Koch P L, Mariotti A, et al. Isotopic biogeochemistry ( $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{18}\text{O}$ ) of mammalian enamel from African Pleistocene hominid sites [J]. Palaeos, 1996, **11**: 306 - 318.
- [10] Wang Y, Deng T. A 25 my isotopic record of paleodiet and environmental change from fossil mammals and paleosols from the NE margin of the Tibetan Plateau [J]. Earth and Planetary Science Letters, 2005, **236**: 322 - 338.
- [11] Wang Y, Deng T, Biasatti D. Ancient diets indicate significant uplift of southern Tibet after ca. 7 Ma [J]. Geology, 2006, **34**: 309 - 312.
- [12] 郑锡澜, 常承法. 雅鲁藏布江地质构造特征 [J]. 地质科学, 1978, **2**: 116 - 126.
- [13] 王树良, 孙洪君. 测绘在雅鲁藏布大峡谷考察中的作用 [J]. 测绘信息与工程, 2000, **1**: 47 - 50.
- [14] 杨逸畴, 高登义, 李渤生. 20 世纪末的一次重大地理发现——雅鲁藏布江大峡谷为世界之最的论证 [J]. 地理研究, 1996, **15** (4): 1 - 9.
- [15] Pamela Groves, Gerald F Shields. Cytochrome B Sequences Suggest Convergent Evolution of the Asian Takin and Arctic Muskox [J]. Molecular Phylogenetics And Evolution, 1997, **8** (3): 363 - 374.
- [16] 汪 松. 中国濒危动物红皮书: 兽类 [M]. 北京: 科学出版社, 1998: 295 - 312.
- [17] 宋延龄, 曾治高, 张 坚, 等. 秦岭羚牛的家域研究 [J]. 兽类学报, 2000, **20** (4): 241 - 249.

- [18] 曾治高, 钟文勤, 宋延龄, 等. 羚牛生态生物学研究现状[J]. 兽类学报, 2003, 23(2): 161~167.
- [19] 刘庆花, 史学正, 于东升, 等. 土壤区划类型的参比与属地化研究[J]. 地理科学, 2006, 26(2): 217~223.
- [20] 钟 诚, 何宗宜, 刘淑珍. 西藏生态环境稳定性评价研究[J]. 地理科学, 2005, 25(5): 573~579.
- [21] 李洪权, 范广洲, 周定文, 等. 青藏高原春季植被变化特征及其对夏季气温的影响[J]. 地理科学, 2008, 28(2): 259~265.
- [22] 姚 建. 雅鲁藏布江大峡谷野生动物考察[J]. 生物学通报, 1999, 34(8): 41~42.
- [23] 孙 航, 周浙昆, 俞宏渊. 喜马拉雅东部雅鲁藏布江大峡谷河谷地区植被组成特点[J]. 云南植物研究, 1997, 19(1): 57~66.
- [24] 李志刚, 段焕娥. 西北高寒民族地区生态环境问题及农牧业发展——以甘南藏族自治州为例[J]. 地理科学, 2005, 25(5): 551~555.
- [25] Lu Houyuan, Wu Naiqin, Gu Zhaoyan, et al. Distribution of carbon isotope composition of modern soils on the Qinghai-Tibetan Plateau[J]. Biogeochemistry, 2004, 70(2): 275~299.
- [26] 王君波, 朱立平, 鞠建廷, 等. 西藏纳木错东部湖水及入湖河流化学特征初步研究[J]. 地理科学, 2009, 29(2): 288~293.
- [27] 王建林, 欧阳华, 王忠红, 等. 念青唐古拉山东南坡高寒草原生态系统表层土壤有机碳分布特征及影响因素[J]. 地理科学, 2009, 29(3): 385~390.
- [28] 章新平, 田立德, 刘晶森, 等. 沿三条水汽输送路径的降水中的 $\delta^{18}\text{O}$ 变化特征[J]. 地理科学, 2005, 25(2): 190~196.

## $\delta^{13}\text{C}$ , $\delta^{18}\text{O}$ Values and Their Paleoenvironmental Significance of Modern Asian Takin Tooth Enamel from the Yarlung Zangbo Grand Canyon

LI Yu-mei<sup>1,2</sup>, LIU Tung-sheng<sup>2</sup>, HONG Bing<sup>2</sup>, CHU Guo-qiang<sup>2</sup>, HONG Ye-tang<sup>3</sup>,  
ZHU Yong-xuan<sup>3</sup>, PENG Jian-hua<sup>3</sup>, DONG Li-min<sup>3</sup>, HAN Jia-mao<sup>2</sup>

(1. Laboratory of Computational Geodynamics, Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049;  
2. Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029; 3. Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang, Guizhou 550002)

**Abstract:** This paper addresses the  $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{18}\text{O}$  values and paleoenvironmental significance of modern Asian takins (*Budorcas taxicolor*), yaks and cattle-yaks tooth enamel from the Yarlung Zangbo Grand Canyon, and tooth enamel of modern reindeers (*Rangifer tarandus*) from Svalbard, the Arctic. The Yarlung Zangbo Grand Canyon has a length of about 496.3 km and cuts its way through the eastern Himalayas. Its climate ranges from subtropical to arctic. The takin (*Budorcas taxicolor*) is a large ungulate belonging to the Bovidae. There are four subspecies: *B. taxicolor taxicolor*, *B. taxicolor bedfordi*, *B. taxicolor tibetana* and *B. taxicolor whitei*. *B. taxicolor taxicolor* is found in the eastern Himalayas, such as the Yarlung Zangbo Grand Canyon. Stable carbon and oxygen isotopic composition of tooth enamel has been established as a valuable tool for reconstructing paleo-environment. In this paper, tooth enamel samples were obtained from modern Asian takins, yaks, cattle-yaks and reindeers for C and O isotope analysis.  $\delta^{13}\text{C}$  values of takin tooth enamel range from  $-19.3\text{‰}$  to  $-2.2\text{‰}$ . The takins living at an altitude of 1300 m have  $\delta^{13}\text{C}$  values ranging from  $-19.3\text{‰}$  to  $-18.9\text{‰}$ , with an average

$\delta^{13}\text{C}$  value of  $-19.1\text{‰}$ ;  $\delta^{13}\text{C}$  value of takins living at an altitude of 1700 m is  $-10.7\text{‰}$ ;  $\delta^{13}\text{C}$  values of takins living at an altitude of 1830 m are from  $-10.7\text{‰}$  to  $-10.3\text{‰}$ , with an average  $\delta^{13}\text{C}$  value of  $-10.5\text{‰}$ ; takins living at an altitude of 3000 m have  $\delta^{13}\text{C}$  values of  $-4.6\text{‰}$  to  $-2.2\text{‰}$ , with an average  $\delta^{13}\text{C}$  value of  $-3.4\text{‰}$ . There is a direct correlation between  $\delta^{13}\text{C}$  values of takin tooth enamel and the altitude, a higher altitude equaling a higher  $\delta^{13}\text{C}$  value. This could be due to an association with  $\text{C}_4$  plants. Higher  $\delta^{13}\text{C}$  values such as  $-3.4\text{‰}$  could suggest consumption of large amounts of  $\text{C}_4$  plants by the animals. It is more likely attributed to the abundance of  $\text{C}_4$  plants in this area. The lower enamel  $\delta^{13}\text{C}$  values such as  $-19.1\text{‰}$  indicate that the takins were feeding predominantly on  $\text{C}_3$  plants, consistent with the dominance of  $\text{C}_3$  plant in the lower elevation.  $\delta^{13}\text{C}$  values of reindeers live in Svalbard are  $-20.2\text{‰}$  to  $-17.8\text{‰}$ , with an average  $\delta^{13}\text{C}$  value of  $-19.0\text{‰}$ ; in conformity with the absence of  $\text{C}_4$  plant in the Arctic. The yak teeth have  $\delta^{13}\text{C}$  values ranging from  $-15.0\text{‰}$  to  $-8.7\text{‰}$ . Cattle-yaks have  $\delta^{13}\text{C}$  values of  $-12.5\text{‰}$  and  $-9.3\text{‰}$ . Maybe these domestic animals were feed with some artificial diet.  $\delta^{18}\text{O}$  values of takin tooth enamel range from  $-9.8\text{‰}$  to  $-5.7\text{‰}$ . The takins live at an altitude of 1300 m, 1700 m, 1830 m and 3000 meters have average  $\delta^{18}\text{O}$  values of  $-8.1\text{‰}$ ,  $-5.7\text{‰}$ ,  $-6.7\text{‰}$  and  $-6.8\text{‰}$ , respectively. The  $\delta^{18}\text{O}$  values of takin tooth enamel do not show a trend with increasing elevation. Average  $\delta^{18}\text{O}$  values of yak tooth enamel are  $-11.7\text{‰}$  and  $-13.6\text{‰}$ . Average  $\delta^{18}\text{O}$  value of cattle-yak tooth enamel is  $-5.3\text{‰}$ . There are variations among the different species.

**Key words:** carbon isotope; Yarlung Zangbo Grand Canyon;  $\text{C}_4$  plant; takin; enamel