



曲 枫 | 主编

[德] 迈克·克努佩尔 | 副主编

王丽英 | 执行主编

北冰洋研究

第⑥辑



Journal of Arctic Studies

上海三联书店



曲 枫 | 主编

[德] 迈克·克努佩尔 | 副主编

王丽英 | 执行主编

北冰洋研究

第⑥辑



Journal of Arctic Studies

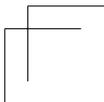
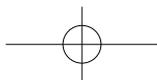
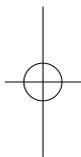
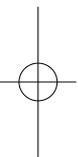
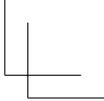
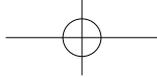
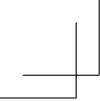


上海三联书店

北冰洋研究

第六辑

上海三联书店



目 录

卷首语

- 当事物彼此回应：植物、人类与植物人类学…………… 曲 枫 /1
Preface……………Michael Knüppel/7

考古学与环境史

- 古代白令陆桥饮食的多元稳定同位素分析…………… 卡林·霍夫曼 本·波特
霍莉·J. 麦金尼 葛屋拓美 布鲁斯·P. 芬尼 布莱恩·M. 肯普
埃里克·J. 巴特林 马修·J. 伍勒 迈克尔·巴克利 凯西·T. 拉克
杰西卡·J. 约翰逊 布列塔尼·L. 宾厄姆 弗朗索瓦·B. 拉诺埃
罗伯特·A. 萨特勒 约书亚·D. 鲁瑟 (王丽英 宋志强译 任晓莹译校) /3
从考古遗存看辽金时期对东北地区的开发…………… 孟庆旭 /38

植物人类学

- 与桦共生——鄂温克族鄂伦春族桦树文化…………… 娜 敏 白 鹭 /57
达斡尔族的柳蒿芽文化…………… 沃泽明 /66
史密斯案件与佩奥特仙人掌：地方性知识与国家法律的遭遇战
…………… 曲 枫 /79
中俄北极植物资源可持续利用合作：传统知识现代化视角……………
罗 颖 杨 励 A. A. 罗巴诺夫 S. V. 安德波诺夫 L. P. 洛巴诺娃 /93

语言人类学

- 再论粟特语 *nwm* (h) (“法律、信条”) 与撒摩耶语 *nom* (“天堂、神”)
…………… 迈克尔·克努佩尔 (刘凤山译校 刘一畅译) /107

近北极民族研究

中华民族共同体的层次重叠共识——以哈木尼干鄂温克人为例

- 朝克赛 /123
鄂温克族传统民歌歌唱语音长时平均谱分析..... 娜琳 吕士良 /136
黑龙江下游少数民族葬俗变迁中的犬文化..... 杨光 王非 /148
交往共存：台吉乃尔蒙古人亲属制度解析..... 乌云斯琴 /159

前沿观察

萨米土著的植物药用传统及萨米与自然之关系：基于瑞典北部的一项访谈

- 研究..... 刘静-赫尔默森 奥斯卡·塞德霍尔姆 托比约恩·阿诺德
安妮塔·庞嘎 莱拉·姒媿珂 (马惠娟 译) /176

书评

三文鱼作为“他者”——《成为三文鱼：水产养殖与鱼的驯养》评介

- 张雯 /249
近北极民族的生态知识和精神世界
——《达斡尔族、鄂温克族、鄂伦春族谚语文化研究》评介
..... 林航 宋安琪 /259

学术动态

- 鄂伦春族最大桦皮船问世..... 关小云 /265
莫力达瓦达斡尔族自治旗达斡尔学会..... 卓仁 /267
呼伦贝尔达斡尔民族文化研究会..... 李建娜 苏福荣 /274
鄂温克族自治旗达斡尔学会..... 卜托娅 /278
韩国培材大学“韩国-西伯利亚中心”介绍
..... 金子英 (苏航 丁涵章译) /283

征稿启事

- 《北冰洋研究》征稿启事..... / 287
Call for Submissions: *Journal of Arctic Studies*..... / 288

CONTENTS

Preface

- When Things Respond to Each Other: Plants, Human, and Anthropology
of Plants Qu Feng/1
Preface Michael Knüppel/7

Archaeology and Environmental History

- Ancient Beringian Paleodiets Revealed through Multiproxy Stable Isotope
Analyses Carrin M. Halfman, Ben A. Potter, Holly J. McKinney,
Takumi Tsutaya, Bruce P. Finney, Brian M. Kemp, Eric J. Bartelink,
Matthew J. Wooller, Michael Buckley, Casey T. Clark, Jessica J. Johnson,
Brittany L. Bingham, François B. Lanoë, Robert A. Sattler, Joshua D. Reuther
(Translated by Wang Liying, Song Zhiqiang and Ren Xiaoying)/3
Viewing the Development of Northeast China in the Liao and Jin Dynasties
from the Archaeological Remains Meng Qingxu/38

Anthropology of Plants

- Living with Birches: Birch Culture of the Evenki and Oroqen
..... Na Ming, Bai Lu/57
The Culture of Willow Buds of Daur Nationality Wo Zeming/66
The Smith Case and the Peyote Cactus: The Encounter of Local Knowledge
and National Law Qu Feng/79
Sino-Russia Cooperation on the Sustainable Utilization of Arctic Plant
Resources: Modernizing Traditional Knowledge Luo Ying, Yang Li,
A. A. Lobanov, S. V. Andronov, L. P. Lobanova/93

Linguistic research

- Once again on Sogdian *nwm(h)* (“law, doctrine”) and Samoyed
nom (“heaven, god”) Michael Knüppel (Translated by Liu Fengshan
and Liu Yichang) /107

Studies of Near-Arctic Peoples

- Vertically Overlapping Consensus of the Chinese National Community
..... Chao Kesai/123
- Using the Analysis Method of the Long-term Average Spectrum to Study the
Pronunciation of the Traditional Folk Songs of the Ewenki People
..... Na Lin, Lv Shiliang/136
- Suitable and Repulsive: Dog Culture in the Change of Burial Custom of
minorities in the Lower Reaches of Heilongjiang
..... Yang Guang, Wang Fei/148
- Interaction and Coexistence: An Analysis of the Kinship System of Taijinar
Mongols Wu Yunsiqin/159

Frontier Observations

- Sámi Indigenous People's Tradition on Uses of Plants for Healing/Health and
Sámi Relationship with Nature — An Interview Study in Northern Sweden
..... Jing Liu-Helmersson, Oscar Sedholm, Torbjörn Arnold,
Anita Ponga, Laila Spik (Translated by Ma Huijuan)/176

Book Review

- Salmon as the “Other”—A Review of “Becoming Salmon. Aquaculture and the
Domestication of a Fish” Zhang Wen/249
- The Ecological Knowledge and Spiritual World of the Near-Arctic Peoples—
A Review of “Research on the Proverbs and Cultures of the Daur, Ewenki
and Oroqen” Lin Hang, Song Anqi /259

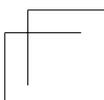
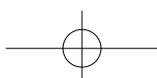
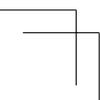
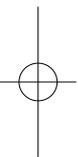
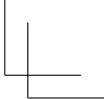
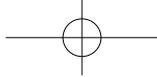
Academic Events

- The Largest Oroqen Birch-Bark Canoe was Constructed Guan Xiaoyun/265
- Introduction to the Daur Society of the Daur Autonomous Banner of Moridawa
..... Zhuo Ren/267
- Introduction to the Cultural Research Association of the Daur Nationality in
Hulunbuir Li Jianna, Su Furong/274
- Introduction of Daur Society of Evenki Autonomous Region Bu Tuoya/278
- Introduction of the “Korea-Siberia Center” at the Korea Baekjae University
..... Kim Ja Young (Translated by Su Hang and Ding Hanzhang)/283

Call for Submissions

- Call for Submissions: *Journal of Arctic Studies* (Chinese) /287
- Call for Submissions: *Journal of Arctic Studies* /288

考古学与环境史



古代白令陆桥饮食的多元稳定同位素分析

卡林·霍夫曼 本·波特 霍莉·J.麦金尼 葛屋拓美 布鲁斯·P.芬尼
布莱恩·M.肯普 埃里克·J.巴特林 马修·J.伍勒 迈克尔·巴克利
凯西·T.克拉克 杰西卡·J.约翰逊 布列塔尼·L.宾厄姆
弗朗索瓦·B.拉诺埃 罗伯特·A.萨特勒 约书亚·D.鲁瑟^①
(王丽英 宋志强译 任晓莹译校)

摘要： 最早的美洲原住民经常被描绘成大型动物狩猎者 (megafaunal specialists)，抑或被刻画成食谱广泛的觅食者，对此问题的争议不能仅仅通过研究动物遗骸来判定。稳定同位素分析可以直接揭示个体饮食状况，我们对阿拉斯加太阳河上游遗址 (USR) 的两个古白令 (Ancient Beringian) 婴儿 (距今约 11500 年) 进行了多组织同位素分析。胎儿骨转换模型与季节性敏感类群结合起来表明，USR 婴儿骨胶原的碳和氮同位素组成可以反映其母亲在夏季的饮食。通过必需氨基酸 (essential amino acids) 和骨生物磷灰石 (bone bioapatite) 的碳同位素分析，然后与动物同位素数据相结合，我们发现，尽管陆地资源在母亲的饮食中占据主导地位，但鲑鱼 (*Oncorhynchus keta*) 也是重要的食物来源。牙釉质样本显示，在春季和夏季，鲑鱼的食用量增加。我们的分析结果既不支持古白令人是标准的大型动物猎食者，也不支持他们是广谱 (broad-spectrum) 觅食者的说法，但可以表明古白令人饮食结构的复杂性和季节性。

关键词： 古代美洲原住民 饮食结构 多元稳定同位素分析

① 卡林·霍夫曼与本·波特为本文共同第一作者和共同通讯作者，两人对本文的贡献相等。译文为国家社科基金重点项目“爱斯基摩史前史与考古学研究”(项目编号: 18AKG001) 的阶段性成果。

作者简介: 卡林·霍夫曼 (Carrin M. Halfman), 就职于阿拉斯加大学费尔班克斯分校人类学系。

本·波特 (Ben A. Potter), 阿拉斯加大学人类学系博士, 现为聊城大学北冰洋研究中心访问教授, 研究方向为阿拉斯加内陆考古学。

霍莉·J. 麦金尼 (Holly J. McKinney), 就职于阿拉斯加大学费尔班克斯分校人类学系。

葛屋拓美 (Takumi Tsutaya), 就职于日本海洋地球科学技术厅海洋资源利用研究所。

布鲁斯·P. 芬尼 (Bruce P. Finney), 就职于美国爱达荷州立大学生物科学和地球科学系。

布莱恩·M. 肯普 (Brian M. Kemp), 就职于美国俄克拉荷马大学的分子人类学和微生物研究实验室以及俄克拉荷马大学人类学系。

埃里克·J. 巴特林 (Eric J. Bartelink), 就职于美国加利福尼亚州立大学人类学系。

马修·J. 伍勒 (Matthew J. Wooller), 就职于美国阿拉斯加大学费尔班克斯分校渔业和海洋科学学院海洋生物学系, 阿拉斯加大学费尔班克斯分校北方工程研究所, 阿拉斯加大学费尔班克斯分校稳定同位素设施, 阿拉斯加大学费尔班克斯分校水与环境研究中心。

迈克尔·巴克利 (Michael Buckley), 就职于英国曼彻斯特大学地球与环境科学学系。

凯西·T. 克拉克 (Casey T. Clark), 就职于美国华盛顿大学大气和海洋研究所联合研究所, 阿拉斯加大学费尔班克斯分校水与环境研究中心。

杰西卡·J. 约翰逊 (Jessica J. Johnson), 就职于阿拉斯加大学费尔班克斯分校生物与野生动物系/北极生物研究所。

布列塔尼·L. 宾厄姆 (Brittany L. Bingham), 就职于美国俄克拉荷马大学的分子人类学和微生物研究实验室。

弗朗索瓦·B. 拉诺埃 (François B. Lanoë), 就职于美国亚利桑那大学人类学应用研究局, 阿拉斯加大学费尔班克斯分校北方极地博物馆, 阿拉斯加大学费尔班克斯分校考古学系。

罗伯特·A. 萨特勒 (Robert A. Sattler), 就职于美国阿拉斯加

费尔班克斯塔纳纳酋长会议。

约书亚·D. 鲁瑟 (Joshua D. Reuther), 就职于阿拉斯加大学费尔班克斯分校人类学系, 阿拉斯加大学费尔班克斯分校北方极地博物馆, 阿拉斯加大学费尔班克斯分校考古学系。

译者简介: 王丽英, 管理学硕士, 聊城大学北冰洋研究中心研究员, 研究方向为学科信息服务、学科信息分析。

宋志强, 管理学博士, 研究方向为数字人文、用户信息素养与信息、焦虑。

任晓莹, 复旦大学科技考古研究院考古学博士研究生, 研究方向为考古遗传学、社会复杂化。

一、引言

美洲最早居民的生存策略仍然是一个有争议的问题, 这些族群被描述为大型动物猎食者或广谱觅食者 (T. A. Surovell and N. M. Waguespack 2009: 77—105; M. D. Cannon and D. J. Meltzer 2008: 5—17)。解决这个问题是搞清楚这一大陆最初殖民、迁徙路径和定居的关键。考古学的动物群落分析对于阐明饮食的广泛性是必不可少的, 但并不能完全解决这一问题, 因为这些动物群落的组成可能受到诸多其他因素的影响 (E. J. Reitz and E. S. Wing 1999)。相比之下, 人类遗骸的稳定同位素分析作为一个强有力的工具, 不仅可以直接量化古代饮食, 还可以揭示个体饮食来源 (M. P. Richards 2020: 125—148)。太阳河上游 (Upward Sun River, 下文中统一简称 USR) 遗址的两个婴儿的遗骸, 是在白令陆桥东部发现的最早的人类遗骸, 这两具遗骸为利用稳定同位素分析研究古代美洲原住民饮食提供了难得的机会。

在阿拉斯加中部的 USR 遗址的同一墓穴中发现了两名女婴骸骨, 其时间可追溯至距今 11500 年前 (校准年 BP) (B. A. Potter et al. 2014: 17060—17065)。年龄较大的 (日出女婴 Xach'itee'aaenh T'eede Gaay 或 USR1) 是一个新生婴儿 (约 3 到 4 周), 较小的 (黎明暮色女婴 Ikaanenh T'eede Gaay 或 USR2) 是一个孕晚期流产的胎儿 (B. A. Potter et al. 2014: 17060—170655)。基因分析表明, 这两个婴儿属于已知的美洲原住民两个基本分支的其中一支, 即古白令人 (Ancient Beringians) (J. V. Moreno-Mayar et al. 2018:

203—207)。这两个婴儿属于不同的母系谱系(分属 C1b 和 B2 亚组)(J. C. Tackney et al. 2015: 13833—13838), 为了解其母亲的饮食, 更广泛地说, 为了解更新世-全新世过渡时期古白令人的饮食, 提供了两个独立的窗口。USR 和婴儿被划归到德纳里组合(Denali Complex), 这是 12500 至 6000 年前白令陆桥东部普遍存在的文化群体(B. A. Potter et al. 2014: 17060—17065)。

我们对 USR 婴儿的多组织进行稳定同位素分析, 同时以该地区一系列的动物考古的比较数据为基础, 包括大型陆地食草动物(野牛和马鹿)、小型猎物(野兔、地松鼠和松鸡)、鲑鱼和淡水白鱼(表 S1 至 S4 和图 S1), 以建立其母亲的饮食模型。北美更新世晚期的人类遗骸极为罕见, 迄今为止, 还没有人利用区域古动物标本进行同位素分析来研究这一时期的饮食。

为全面了解饮食, 我们分析了多种组织, 因为它们可以反映不同的饮食成分: (i) 大量骨胶原的碳、氮稳定同位素值($\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$); (ii) 骨胶原中一种必需氨基酸(EAAs)的 $\delta^{13}\text{C}$ 值(化合物特异性同位素分析); (iii) 骨生物磷灰石(bone bioapatite) $\delta^{13}\text{C}$ 值, (iv) 牙釉质 $\delta^{13}\text{C}$ 值。膳食蛋白质来源信息反映在(i)和(ii)中, 全膳食碳源(碳水化合物、脂类和蛋白质)反映在(iii)和(iv)(M. P. Richards 2020: 125—143; E. C. Webb et al. 2017: 28—44; S. H. Ambrose and L. Norr 1993: 1—37)中。因为 USR2 在出生前已死亡, 而 USR1 可能在出生后不久死亡, 尽管我们认为妊娠或母乳喂养对同位素值可能产生影响, 但他们的组织的同位素组成依然能够反映出在这些组织形成期间, 即妊娠期的母亲的饮食(M. P. Richards et al. 2002: 205—210; B. T. Fuller et al. 2006: 279—293)。

根据多种指标分析, 包括季节性敏感的动植物分类群(浆果、未成年和成年地鼠、鲑鱼)的分析, 我们推测这两个婴儿的死亡时间为 8 月初(表 S5)。为了确定 USR1 和 USR2 的骨组织所反映的饮食信息, 我们建立了胎儿骨胶原和矿物质周转率模型。

二、结果

(一) 产前骨同位素组成反映了母亲的近期饮食

我们建立的胎儿骨组织转换模型表明, 在妊娠期间骨胶原和矿物质的转换率很快(表 S6 和图 S2)。例如, 对于孕 40 周的婴儿, 大约 17% 的现有骨胶原在前一周形成(原文图 2, 译文图 1)。将周转模型应用于 USR 婴儿表明,

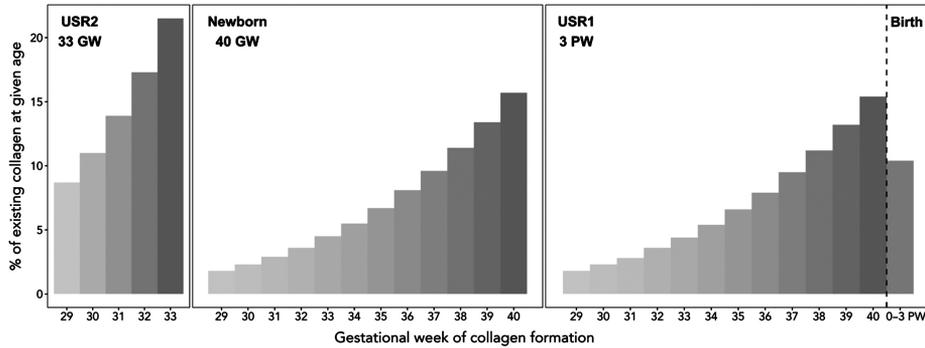


图 1 特定年龄在孕早期形成的骨胶原比例。对于孕 33 周 (GW) 的胎儿, 64% 的现有胶原蛋白是在前 4 周 (30—33 周) 形成的, 而对于新生儿 (40 GW), 55% 的骨胶原是在前 4 周形成的。对于出生后 3 周 (PW) 的新生儿, 26% 的骨胶原形成于前 4 周, 68% 形成于前 8 周。胎儿骨胶原的估算是基于一种新的骨胶原转换模型 (表 S6 和 S7); 新生儿骨胶原估算是基于先前发布的模型 (T. Tsutaya and M. Yoneda 2013)。

绝大多数 (约 70%) 的骨胶原是在孕期的最后 5 到 8 周合成的 (表 S7)。根据推测出的死亡时间, 婴儿的骨组织将在很大程度上反映其母亲在夏季的饮食。

我们假设在子宫内形成的骨胶原反映了母亲的饮食, 因为胎儿通过胎盘从母亲的血液获取营养。然而, 母亲和胎儿骨胶原同位素值是否相同, 这一问题尚未解决 (L. M. Reynard and N. Tuross 2015: 618—625)。为解答这个问题, 我们将营养鉴别因子 (trophic discrimination factors) 的方差参数 (TDFs; 食物来源和消费者组织之间同位素值的变化) 纳入混合模型, 并通过测试这一模型对不同 TDFs 的敏感性来解决模型的不确定性。

(二) 陆地资源占主导地位, 但鲑鱼在母亲的饮食中也很重要

我们以图表 (D. L. Phillips and J. W. Gregg 2003: 261—269) 和贝叶斯多元混合模型 (MixSIAR) (B. C. Stock et al. 2018) 分析了人类和该地区古代动物群的大量骨胶原同位素数据, 以估算 USR1 和 USR2 各自母亲的膳食蛋白质来源 (原文图 3 和 4, 译文图 2 和 3 以及表 S8 和 S9)。USR 婴儿的骨胶原蛋白的 $\delta^{13}\text{C}$ 值相同 (-18.4‰), 但 USR1 的骨胶原蛋白 $\delta^{15}\text{N}$ 值 (9.1‰) 略高于 USR2 (8.7‰) (表 S2), 这可能反映了哺乳的开始, 哺乳导致 ^{15}N 在组织中富集 (B. T. Fuller et al. 2006: 279—293)。以 USR2 的 $\delta^{15}\text{N}$ 值作为产前基线, 我们估测, 假设 USR1 的骨生长和重塑正常, 母乳喂养可以将 ^{15}N 值最大提高 3.0% (B. T. Fuller et al. 2006: 279—293; T. Tsutaya and M. Yoneda

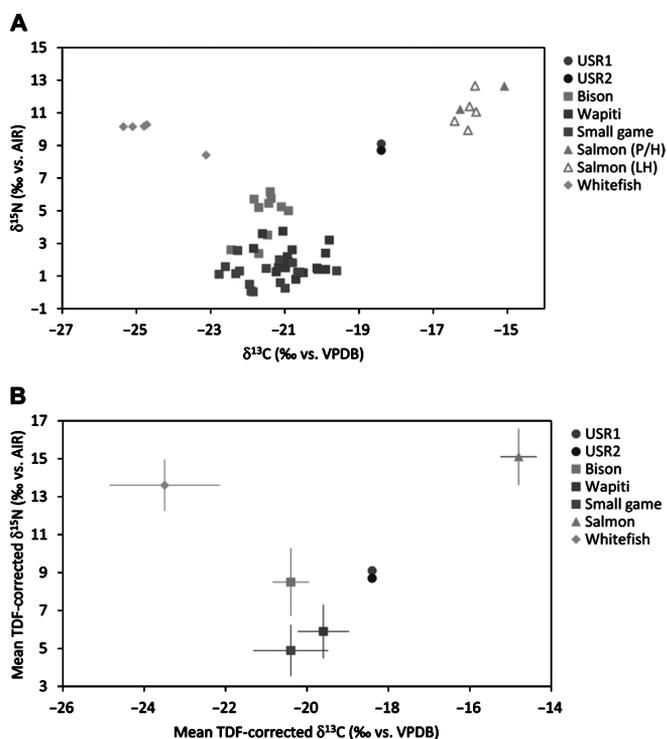


图 2 USR 婴儿和区域动物区系的骨胶原 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 值。小型猎物一般是野兔、地松鼠和松鸡 / 雷鸟。(A) 骨胶原原始 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 值。鲑鱼 (P/H) 包括可追溯到更新世末期 / 全新世早期的标本; 鲑鱼 (LH) 包括可以追溯到全新世晚期的标本。(B) 等空间图 (Isospace plot) 显示的动物区系平均 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ TDFs 修正值计算为: $d\delta^{13}\text{C}_{\text{TDF-corrected}} = \delta^{13}\text{C}_{\text{collagen}} + 1.1\text{‰} (\pm 0.2\text{‰})$ $\delta^{15}\text{N}_{\text{TDF-corrected}} = \delta^{15}\text{N}_{\text{collagen}} + 3.8\text{‰} (\pm 1.1\text{‰})$ (H. Bocherens et al. 2015: 211—228)。源误差条显示 ± 1 SD [下面的计算结合源和 TDF SD (B. C. Stock and B. X. Semmens 2016)]。鲑鱼包括 P/H 和 LH 标本。

2013), 那么在哺乳期的 3 到 4 周内, 将有 0.4‰ 的轻微骨胶原富集。

婴儿和动物的 $\delta^{15}\text{N}$ 和 $\delta^{13}\text{C}$ 值 (原文图 3, 译文图 2, A 和 B) 的双标图显示, 婴儿同位素值位于动物同位素值 (校正后的 TDFs) 限定的饮食混合区间内 (校正后 TDF), 表明他们的同位素组成可以通过母亲饮食中的混合食物来源阐释 (D. L. Phillips and J. W. Gregg 2003: 261—269)。婴儿同位素值与经 TDF 校正的陆地动物 (野牛、马鹿和小型猎物) 的同位素值接近, 表明这些资源中的一种或多种对母亲的饮食有很大贡献。然而, 婴儿的 $\delta^{13}\text{C}$ 值高于陆地食物来源 (和白鲑), 这表明富含 ^{13}C 的食物源, 鲑鱼, 肯定是两个母亲的饮食的一部分。此外, 包括更罕见的次生动物的图表显示, 如果没有鲑鱼,

没有其他食物来源可以解释婴儿同位素特征中 ^{13}C 和 ^{15}N 富集情况 (图 S3)。

USR1 和 USR2 的贝叶斯混合模型 (Bayesian mixing model) 结果表明, 尽管他们的母亲从陆地资源中获得了大部分的膳食蛋白质, 但鲑鱼也贡献了相当大的比例, 淡水鱼的贡献可以忽略不计 (原文图 4A, 译文图 3A 和表 S9)。USR1 的平均膳食贡献估计为: $62 \pm 8\%$ 陆地资源 (野牛、马鹿和小型猎物的后验聚合)、 $32 \pm 6\%$ 鲑鱼和 $6 \pm 5\%$ 淡水白鲑。USR2 的结果非常类似, 平均估计 $65 \pm 8\%$ 的陆地资源、 $30 \pm 7\%$ 的鲑鱼和 $5 \pm 4\%$ 的淡水白鲑。三类食物来源的贝叶斯置信区间 (CIs) 为 95%, 表明不存在仅由陆地食物源组成的饮食方案 (表 S9)。所有置信区间为 95% 的饮食方案中至少含有 16% 的鲑鱼, 尽管在这个区间内不含有白鲑。当考虑到三种主要资源类别 (陆地资源、鲑鱼和白鲑) 时, 混合模型的性能指标很强, 比例贡献估计相对受限, 后验分布狭窄, 与先验分布有差异, 表明饮食贡献估算是可信的, 并有同位素数据支持 (原文图 4, 译文图 3, A 和 B) (B. C. Stock et al. 2018; D. L. Phillips et al. 2014: 823—835)。然而, 混合模型的输出并不能明确解决离散陆地资源的相对重要性, 因为野牛、马鹿和小型猎物的贡献估算存在高度的不确定性 (表 S9 和图 S4)。

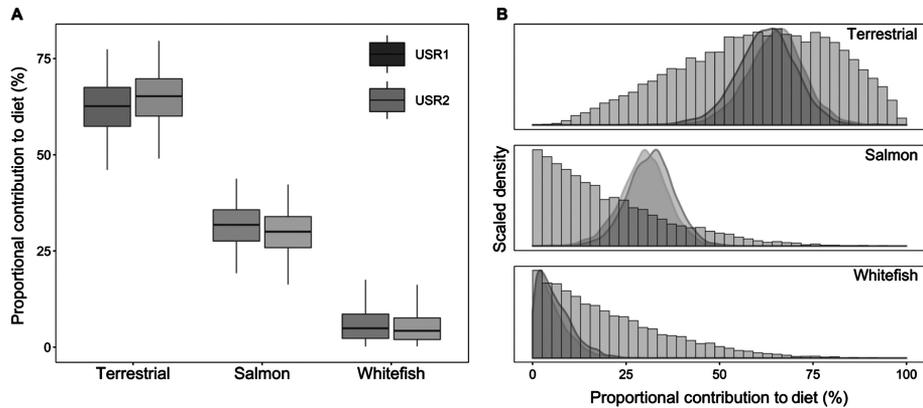


图 3 基于婴儿骨胶原 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 值的 USR 母亲饮食模型。利用贝叶斯多源混合模型, 通过 5 种食物源 (野牛、马鹿、小型猎物、鲑鱼和白鲑)、2 种生物示踪剂 ($\delta^{13}\text{C}_{\text{collagen}}$ 和 $\delta^{15}\text{N}_{\text{collagen}}$) 来准确估算食物来源对外部饮食的贡献率。陆地动物是野牛、马鹿和小型猎物的后验聚集。(A) 箱线图显示预估贡献的中位数 (中线)、50% 置信区间 (CI) (箱边缘) 和 95% 置信区间 CI (误差线)。(B) USR1 (颜色较深) 和 USR2 (颜色较浅) 的源贡献的后验分布 (彩色) 叠加在先验分布 (灰色) 上。先验未提供狄利克雷详情 (5 种原始源的权重相等)。

考虑到氮稳定同位素 TDF ($\delta\Delta^{15}\text{N}$) 估算的不确定性, 我们检验了混合模型贡献估值对不同量级的 $\Delta^{15}\text{N}$ 敏感性。我们设定模型的 $\Delta^{15}\text{N} = 3.8\text{‰}$, 将 $\Delta^{15}\text{N}$ 调整幅度设为 1‰ , 调整区间设为 2.8‰ 到 5.8‰ 。我们发现, 陆地资源、鲑鱼和白鲑的平均贡献估值对 $\Delta^{15}\text{N}$ 的变化相当稳定 (表 S10)。例如, $\Delta^{15}\text{N}$ 每增加 1‰ , 鲑鱼的平均贡献估值仅减少约 5 个百分点。

(三) 氨基酸和生物磷灰石 $\delta^{13}\text{C}$ 值支持陆地和海洋来源的混合饮食

我们测量了几种骨胶原 EAAs 的稳定碳同位素组成 (表 S11)。由于动物不能自己合成 EAAs, 它们的碳来自膳食蛋白质, 可以反映出处于食物网底层的初级生产源的稳定碳同位素组成 (T. Larsen et al. 2013)。此外, 单体氨基酸 (individual amino acid) $\delta^{13}\text{C}$ 值可以标准化, 以控制同位素值的基线变化, 从而可以比较来自不同地区或不同时期的人类群体的饮食 (N. V. Honch et al. 2012: 495—511)。在此, 我们使用两个标准化的 EAA 膳食标记物 (dietary markers), $\Delta^{13}\text{C}_{\text{Val-Phe}}$ 与 $\Delta^{13}\text{C}_{\text{Lys-Phe}}$, 这是根据已公布的数据计算得出的, 来区分以海洋和陆地饮食为主的个体 (原文图 5, 译文图 4 和表 S12) [由 (N. V. Honch et al. 2012: 495—511; E. C. Webb et al. 2015: 104—114) 修改]。两类个体之间存在明显的差异, 海洋和淡水饮食个体的 $\Delta^{13}\text{C}_{\text{Val-Phe}}$ 与 $\Delta^{13}\text{C}_{\text{Lys-Phe}}$ 值高于陆地饮食个体, 且所有的值没有重叠。这些差异与在藻类和植物中发现的差异相似, 而藻类和植物分别是水生食物网和陆地食物网底部的初级生产者。USR 婴儿的 $\Delta^{13}\text{C}_{\text{Val-Phe}}$ 与 $\Delta^{13}\text{C}_{\text{Lys-Phe}}$ 值介于陆地饮食和海洋性饮食人群的值之间, 如果其母亲的饮食是基于陆地哺乳动物和鲑鱼的组合, 则符合预期。

我们还测量了 USR1 骨生物磷灰石的稳定碳同位素组成, 值为 -15.5‰ 。采用傅里叶变换红外光谱 (Fourier transform infrared spectroscopy) 对生物磷灰石样品质量进行了评估 (S. J. Garvie-Lok et al. 2004: 763—776; M. M. Beasley 2014: 16—22), 评估结果显示, 碳酸盐-磷酸盐比 (carbonate-to-phosphate) (0.28) 和红外分裂因子 (2.6) 等样品质量指标均位于保存完好的考古样品的参数范围内 (M. M. Beasley 2014: 16—22)。我们将 $\delta^{13}\text{C}_{\text{bioapatite}}$ 和 $\delta^{13}\text{C}_{\text{collagen}}$ 数值结合起来进一步研究母亲的饮食。来自控制饮食的饲养动物的实验证据表明, $\delta^{13}\text{C}_{\text{bioapatite}}$ 和 $\delta^{13}\text{C}_{\text{collagen}}$ 分布形成了两条截然不同的回归线, 这取决于蛋白质是来自 (i) C_3 陆地资源还是 (ii) 海洋或 C_4 陆地资源 (A. W. Froehle et al. 2010: 2662—2670)。因为 C_4 植物在亚北极地区极为罕见 (M. J.

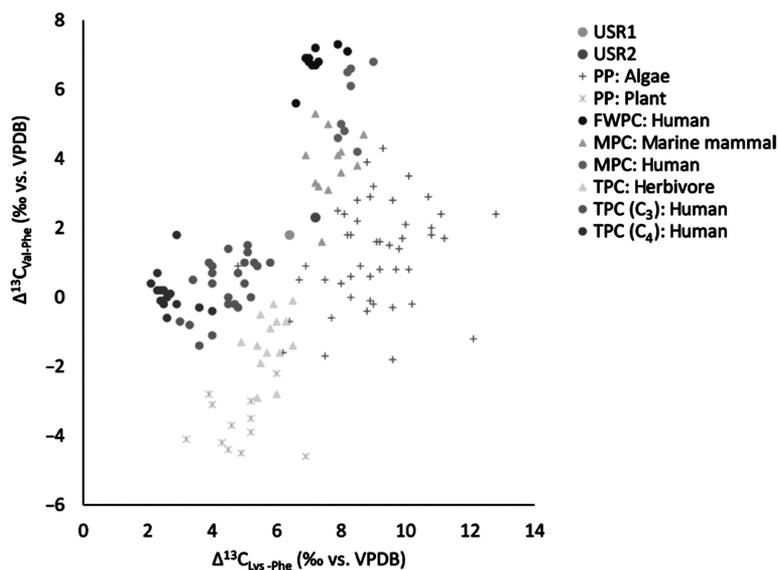


图 4 与陆地、海洋和淡水蛋白质消费者相比, USR 婴儿的骨胶原 EAA $\delta^{13}\text{C}$ 饮食标记物。比较值是根据已发表的数据计算得出的(表 S12)(T. Larsen et al. 2013; N. V. Honch et al. 2012: 495—511; E. C. Webb et al. 2015: 104—114; K. Choy et al. 2010: 6093—6111; M. Raghavan et al. 2010: 541—548; E. C. Webb et al. 2018: 1—18)。 $\Delta^{13}\text{C}_{\text{Val-Phe}} = \delta^{13}\text{C}_{\text{valine}} - \delta^{13}\text{C}_{\text{phenylalanine}}$ 与 $\Delta^{13}\text{C}_{\text{Lys-Phe}} = \delta^{13}\text{C}_{\text{lysine}} - \delta^{13}\text{C}_{\text{phenylalanine}}$ 。同时将初级生产者的值也展示出来。PP, 初级生产者; FWPC, 淡水蛋白质消费者; MPC, 海洋蛋白质消费者; TPC, 陆地蛋白质消费者。

Wooller 2007: 318—331), 我们认为第二条回归线反映了海洋饮食。USR1 相关值位于两条蛋白回归线之间, 但更接近 C_3 陆地蛋白线(图 S5), 与基于骨胶原 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 值的混合模型估算结果非常一致。

USR1 的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{bioapatite}}$ 和 $\delta^{13}\text{C}_{\text{collagen}}$ 差值 ($\Delta^{13}\text{C}_{\text{bioapatite-collagen}}$) 是 2.9‰, 这表明整体饮食的 $\delta^{13}\text{C}$ 值低于膳食蛋白质的 $\delta^{13}\text{C}$ 值 (S. H. Ambrose and L. Norr 1993: 1—37)。基于陆地动物的饮食, 随着饮食中消耗的脂质部分 ^{13}C 的增加, $\Delta^{13}\text{C}_{\text{bioapatite-collagen}}$ 预计会缩小, 当脂质占常量营养素的 50% 时, 预测差值在 3‰ 左右 (R. Fernandes 2012: 291—301)。总的来说, USR 的 $\Delta^{13}\text{C}_{\text{bioapatite-collagen}}$ 的差值表明动物脂肪数量较高, 这与根据其他测算指标的饮食推断一致, 并进一步表明饮食中含有大量大型哺乳动物, 大型动物的全身脂肪比例远高于小型哺乳动物 (L. Cordain 2000: 682—692)。

(四) 连续的牙釉质样本表明, 在夏季, 鲑鱼的消耗量有所增加

牙釉质是逐渐形成的, 一旦形成就不会被重塑, 因此对该组织的连续样本进行同位素分析可以检测出牙齿形成过程中饮食的变化 (M. Balasse 2002: 155—165)。对于 USR1, 我们从上颌第二乳切牙 (di^2) 中取样牙釉质, 该切牙在妊娠 17 周左右开始形成 (P. Mahoney 2012: 637—651)。从乳切牙采集的连续牙釉质样本中, 切嵴 (incisal section) (形成较早, 2 月/3—5 月) 的 $\delta^{13}C$ 值为 -14.2% , 牙颈 (cervical section) (形成较晚, ~ 5 —8 月) 的 $\delta^{13}C$ 值为 -13.4% 。USR1 牙釉质 $\delta^{13}C$ 值随着时间的推移增加了近 1%, 这表明在后期发育过程中, 母亲的饮食中加入了富含 ^{13}C 的鲑鱼, 这与塔纳纳盆地 (Tanana basin) 现代鲑鱼洄游的时间相一致 (B. A. Potter 2008: 89—113)。

(五) 独立指标 (independent proxies) 支持以陆地资源为主并混合鲑鱼的饮食

对塔纳纳盆地同时代遗址的动物考古分析 (B. A. Potter 2008: 89—113; B. A. Potter 2013: 81—103) 和 USR 遗址特有的炉底沉积物同位素分析 (K. Choy, 2016: 9757—9762) 为古白令饮食提供了独立指标。在所有存在动物群落的德纳里组合遗址 (Denali Complex sites) ($n = 16$; 100% 普遍存在) 都发现了大型哺乳动物 (主要是野牛和马鹿), 而小型哺乳动物 (如地松鼠和野兔)、鸟类 (陆地和水禽) 和鱼类只在少数遗址发现 (分别为 29%、44% 和 25%) (表 S13 和 S14) (B. A. Potter 2008: 89—113; B. A. Potter et al. 2013: 81—103)。在有蹄动物中, 野牛 (56% 概率) 和马鹿 (31%) 是最常见的, 其次是驯鹿、绵羊 (19%) 和驼鹿 (6%)。一些短期德纳里狩猎营地 (short-term Denali hunting camps), 如格斯尔河 (Gerstle River) (B. A. Potter 2007: 3—23), 以野牛和马鹿为主, 武器技术单一, 而在德纳里居住营地 (Denali residential base camps), 如 USR 和 Broken Mammoth, 动物种类更多 (表 S14) (B. A. Potter et al. 2014: 17060—17065; D. R. Yesner 2001: 315—327)。

直到最近, 在 USR 组 3 的德纳里遗址 (Denali site) 中才证实古印度人食用鲑鱼 (C. M. Halffman 2015: 12344—12348)。本文公布了对塔纳纳盆地第二地点 (XBD-318) 的鲑鱼遗骸的鉴定情况。鲑鱼标本是从埋藏在黄土中的考古遗存中鉴定的 (B. A. Potter et al. 2007), 年代可以直接追溯到距今 12680—12770 年 (校正后的年代) (UGAMS-26403; 10, 830 ± 40 BP)。通过

DNA 和同位素分析, 该样本被确认为溯河产卵的鲑鱼(表 S1 至 S4)。

我们根据骨胶原 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 值对陆地资源和鲑鱼对饮食的贡献估算结果, 与 USR 的组构 3 中大量灶膛沉积物中脂肪酸的碳稳定同位素分析结果一致性程度很高(表 S15 和图 S6)(K. Choy 2016: 9757—9762)。总的来说, 这一区域的动物考古记录和墓葬中灶膛沉积物化学分析都证实, 古白令人饮食以陆地资源野牛和马鹿为主, 辅以鲑鱼、淡水资源和小型猎物。

三、讨 论

这些基于稳定同位素的古饮食模型提供了一个独特的窗口, 可以帮助了解 11500 年前两个古白令妇女春夏时期的饮食, 从而为考古记录中观察到的数千年的广泛生存模式和短期觅食模式之间提供联系。我们的研究表明, 在夏季, USR1 和 USR2 的母亲从陆地食物资源中获得了大部分膳食蛋白质, 但鲑鱼贡献也很大, 而淡水鱼在这方面的贡献微弱。鲑鱼很可能只在婴儿生命的最后 4 到 6 周才作为母亲的食物, 与婴儿大部分骨胶原蛋白形成的时间段相一致, USR1 的牙釉质数据表明, 在春夏之际, 富含 ^{13}C 的来源食物消耗量增加, 可能是鲑鱼。

目前关于白令陆桥东部更新世末期人群生存和迁徙的模型表明, 陆地资源的可用性, 特别是大型动物的可用性, 是做出经济和土地利用决策的主要条件因素(B. A. Potter et al. 2013: 81—103)。我们的古饮食模型既没有反映出这些人是标准意义上的大型动物猎食者, 也没有显示出一般意义上的广谱觅食者。总的来说, 这些饮食模型结合了德纳里组合的大型哺乳动物狩猎站(B. A. Potter 2007: 3—23)和类似于 USR 的居住营地(B. A. Potter et al. 2014: 17060—17065)的考古数据, 为研究古白令饮食提供了更全面的视角。我们已经展示了几个独立的饮食指标, 包括对多种人体组织和灶膛沉积物脂肪酸的同位素分析(K. Choy et al. 2016: 9757—9762), 以及区域动物考古证据(B. A. Potter 2013: 81—103), 都支持古白令饮食具有复杂性和季节性。而这里建立的饮食模型也支持陆地资源在古白令饮食中占首要地位, 来自鲑鱼的同位素证据表明, 鲑鱼这种资源在形成迁徙和定居体系方面也发挥重要作用。

鲑鱼在历史上是阿拉斯加内陆地区阿萨巴斯卡人(Athabascan)的重要资源(H. T. Allen 1887), 今天仍然如此。一项针对现代阿拉斯加土著居民的

广泛饮食调查 (C. Ballew et al. 2004) 发现, 塔纳纳地区 (Tanana region) 的阿萨巴斯卡人饮食中 24% 的蛋白质来自鲑鱼, 这一数字与我们对 11500 年前生活在该地区的古白令人对鲑鱼的消耗估算非常相似。

四、材料和方法

(一) 考古人类和动物标本

本研究中分析的所有人类和动物骨骼样本见表 S1。所有的样本都来自阿拉斯加大学北方博物馆现有的永久收藏或研究实验室中正在积极研究的藏品。

1. USR 婴儿

根据美国阿拉斯加州 (土地拥有者)、国家科学基金会 (牵头方)、希利湖部落委员会 (联邦认可的部落管理局) 以及塔纳纳酋长会议 (一个地区性的非盈利部落联盟) 签署的《备忘录》(MOA), 对 USR 婴儿遗骸进行挖掘和分析。各方签署了 MOA 修正案, 允许对骨骼遗骸进行破坏性分析, 以通过稳定同位素分析重建饮食, 并通过 DNA 分析评估遗传关系。在此对各方的支持与合作表示感谢。

关于 USR 婴儿的骨骼和遗传学研究成果已经发表 (B. A. Potter 2014: 17060—17065; J. V. Moreno-Mayar et al. 2018: 203—207; J. C. Tackney et al. 2015: 13833—13838)。线粒体 (Mitochondrial) DNA 序列表明, 婴儿属于两个独立的线粒体谱系 (mitochondrial lineages) (B2 和 C1b), 因此, 不是同一母亲 (J. C. Tackney et al. 2015: 13833—13838)。全基因组序列数据表明 USR 婴儿是同父异母或表兄弟姐妹, 经过确认两个婴儿是女性 (J. V. Moreno-Mayar et al. 2018: 203—207)。

根据骨测算, USR1 的死亡年龄约为出生后 6 周, USR2 约为孕 33 周 (B. A. Potter 2014: 17060—17065)。根据牙齿发育情况, USR1 估算的年龄略大 (约为出生后 12 周)。根据骨骼和牙齿估算的年龄存在差异, 可能是由于古白令人和制定年龄表所使用的现代欧洲裔人的数据之间的差异造成的, 或者 USR1 骨骼生长可能落后于实际年龄, 尽管没有发现明显的骨骼异常或病变 (B. A. Potter 2014: 17060—17065)。牙齿测算法 ($\pm 4 \sim 13$ 周) 比骨测算法 ($\pm \sim 2$ 周) 在估算年龄时的误差范围更大 (B. A. Potter 2014: 17060—17065; S. J. AlQahtani 2014: 70—78)。鉴于两种方法的 1 西格玛 (one-sigma) 不确定范围取值重叠 3—4 周左右, 我们认为对 USR1 死亡年龄的估算

是合理的。

分别选取 USR1 和 USR2 的单个中肋骨 (middle ribs) 提取骨胶原。USR1 的肋骨产生了足够的材料来提取生物磷灰石。此外,对 USR1 的一颗牙齿 (右上颌乳齿侧切牙) 的釉质进行了连续取样,用于 $\delta^{13}\text{C}$ 分析。我们尝试对 USR2 进行连续牙釉质取样,但样本量太小,无法进行分析。

2. 动物遗骸

我们选择动物遗骸时,充分考虑到 USR 组构 3 中出现的动物群落 (与婴儿直接相关) 和 / 或在区域的更新世末 / 全新世早期普遍存在的动物群落。与 USR 婴儿直接相关的动物遗骸通常烧毁严重,不适合提取胶原蛋白和进行稳定同位素分析。因此,我们从阿拉斯加州中部塔纳纳盆地的其他考古遗址中选取动物遗骸,既涵盖 USR 居民使用的潜在动物种群资源,又可以采集食物来源的同位素变化 (表 S1)。我们使用分子分型方法 (molecular methods) (包括 DNA 和 / 或蛋白质指纹法) 确认或完善所有鲑鱼和几乎所有有蹄类动物的分类鉴定 (表 S1, S3、S4 和数据文件 S1)。为了控制 $\delta^{13}\text{C}_{\text{collagen}}$ 和 $\delta^{15}\text{N}_{\text{collagen}}$ 在不同实验和研究中的测量差异 (W. J. Pestle 2014), 本研究中所有动物标本均采用相同的方法提取胶原蛋白进行分析,除个别标本外,均使用相同的稳定同位素实验室 (表 S2)。

我们考虑了两组动物群落食物来源: (i) 主要动物群落,仅包括 USR 组构 3 中确认的动物 (与婴儿直接相关) 和 / 或在塔纳纳盆地更新世晚期 / 全新世早期动物群落中普遍存在的动物 (野牛、马鹿、小型动物、鲑鱼和白鲑); (ii) 次要动物群落,包括 USR 组构 3 中未确认但偶尔出现在该时期动物群落记录中的类群 (驯鹿、绵羊和水禽) (表 S13 和 S14) (B. A. Potter 2014: 17060—17065; B. A. Potter 2013: 81—103)。关于动物群落样本组成的更多细节,请参阅补充材料。

(二) 选定动物遗骸的 DNA 分类鉴定

1. DNA 提取

所有预聚合酶链反应 (PCR) 实验都是在俄克拉荷马大学分子人类学和微生物学研究实验室的古 DNA 设备中进行的。该设备是专门处理老化、降解,和 / 或低拷贝数的 DNA 样本的。实验室采取预防措施,以减少和监测实验中污染的产生。

从每个样本中抽大约 50 毫克或更少的骨骼作为子样本。子样本浸入 6%

(w/v) 的次氯酸钠 (sodium hypochlorite) 中 4 分钟 (J. L. Barta et al. 2013: 340—348)。倒出次氯酸钠, 将样本迅速浸入不含 DNA 的纯水 (DNA-free water) 中两次。

将骨样本转移到 1.5 ml 的试管中, 加入 500 μ l 浓度为 0.5 mol/L (500 μ l of 0.5 M) 的乙二胺四乙酸 (EDTA) 溶液, 试管在室温下轻轻摇晃 >48 小时。每批提取物都有一个阴性对照 (negative control), 即不添加任何样本, 与样本的比例通常为 1:7。

按照坎普 (Kemp) 等人 (B. M. Kemp et al. 2014: 373—380) 描述的方法提取 DNA。向每个样本中加入 90 μ l 浓度为 1 mg/30 μ l (或 >20 U/30 μ l) 的蛋白酶 K (proteinase K) (Bio Basic 目录编号 32181), 将试管在 64 °C ~ 65 °C 下孵育 3 小时。蛋白酶 K 溶解后, 试管以 15000 rpm 的速度离心 1 分钟, 以沉淀未溶解的骨头、污垢, 和 / 或 “污泥”。本研究的所有离心步骤均使用型号 5424 的艾本德离心机 (Eppendorf centrifuge 5424) 进行。将溶液小心地移到一个新的 1.5 ml 试管中, 向其中加入 750 μ l 的 2.5% “树脂 (resin)” (即 6 M 盐酸胍中 2.5% 胍式盐) 和 250 μ l 的 6 M 盐酸胍 (guanidine HCl)。将试管多次漩涡震荡大约 2 分钟。

将 Promega Wizard 微型柱与 3 ml 的 Luer-Lok 注射筒 (取出柱塞) 连接, 并置于离心管 (vacuum manifold)。首先, 将 3 ml 不含 DNA 的纯水注入色谱柱 (columns), 以洗脱潜在的 DNA 污染。随后, 将 DNA/ 树脂混合液注入色谱柱。最后将 3 ml 80% 异丙醇 (isopropanol) 注入色谱柱, 以冲洗微型柱上的二氧化硅颗粒 (silica pellet)。

然后将微型柱置于新的 1.5 ml 试管中, 以 10000 rpm 离心 2 分钟, 以去除过量的异丙醇。将微型柱转移至新的 1.5 ml 试管中。将 50 μ l 加热至 64 °C ~ 65 °C 的无 DNA 纯水加入微型柱中, 静置 3 分钟, 然后以 10000 rpm 试管离心 30 秒。重复此步骤, 最终提取到 100 μ l DNA。10 μ l 全浓度洗脱液 (full concentration eluates) 和阴性对照用水按 1:10 稀释, 按如下方法使用 [遵照标准 PCR、救援 PCR 和 PCR 缓冲液增强剂]。

2. 抑制试验和重复硅胶提取

按照坎普等人 (B. M. Kemp 2014: 373—380) 的原理, 剩余的全浓度 DNA 洗脱液 (eluates) 用于检测 PCR 抑制剂 (inhibitors), 使用 “火鸡集合” 作为古 DNA 阳性对照 (positive control) (见坎普等人论文中图 1)。从七个或更多考古发现的火鸡骨骼 (B. M. Kemp et al. 2017) 中提取的 DNA 被汇集在

一起,形成火鸡集合。将这些单独提取的 DNA 汇集在一起,这是为了减少火鸡 DNA 洗脱液在内源性线粒体 (endogenous mitochondrial) DNA 拷贝数和与火鸡 DNA 共提取的可能抑制剂之间的差异。在将它们用于实验之前,每个火鸡集合被证明可以进行一致的 PCR 扩增 (6 次或 6 次以上扩增),因此可以作为阳性对照。

使用坎普等人 (B. M. Kemp 2017) 描述的引物 (primers) “T15709F” 和 “T15894R”, 用 15 μl PCR 液对火鸡替位环 (displacement loop) 的 186 碱基对部分进行扩增。PCR 液组成为: 1 \times Omni KlenTaq 反应缓冲液 (含 3.5 mM MgCl_2)、0.32 mM 脱氧核苷酸三磷酸 (dNTPs)、0.24 μM 每种引物、0.3 U Omni KlenTaq LA 聚合酶、1.5 μl 火鸡集合 DNA。这些反应中添加了研究样本中回收的 1.5 μl 的可能受抑制的全浓度 DNA 洗脱液。提取阴性对照也用这种方法检测抑制剂。这些聚合酶链反应与只包含火鸡 DNA 的反应 (即没有添加物) 同时进行。这些反应作为阳性对照,使我们能够排除 PCR 失败对我们结果的影响。PCR 阴性对照伴随着每一轮扩增,使我们能够监测可能的污染。仅在启动扩增前,PCR 实验后 post-PCR laboratory 添加现代火鸡 DNA 的做阳性对照,作为可能的 PCR 失败的另一种检查。94 $^{\circ}\text{C}$ 下变性 3 分钟后,在 94 $^{\circ}\text{C}$ 15 s、60 $^{\circ}\text{C}$ 15 s 和 68 $^{\circ}\text{C}$ (注意,这是 Omni KlenTaq LA 聚合酶的最佳延伸温度) 15 s 下进行 60 个 PCR 循环。最后,在 68 $^{\circ}\text{C}$ 下延伸 3 分钟,之后将 PCR 反应降低到 10 $^{\circ}\text{C}$ 。

如果加入任一指定的古 DNA 洗脱液,火鸡集合未能扩增,那么我们认为洗脱液受到了抑制。在这种情况下,如果添加古 DNA 而火鸡集体 DNA 可以扩增,我们认为 DNA 洗脱液是不受抑制的。

用上述试验中认为被抑制的全浓度洗脱液重复进行二氧化硅萃取 (silica extraction) (B. M. Kemp 2014: 373—380)。在剩余的洗脱液中加入 750 μl 的 2.5% 树脂和 250 μl 的 6 M 盐酸胍。将样本多次涡旋震荡 2 分钟。然后,按照上文 “DNA 提取” 中所述的步骤进行提取,但用于洗脱色谱柱中 DNA 的体积与进行重复硅胶提取的体积要相匹配。例如,起始体积为 87 μl ,那么将 43.5 μl 的不含 DNA 纯水加热至 65 $^{\circ}\text{C}$ 加入到微型柱中,离心前静置 3 分钟。此步骤重复两次,则总体积为 87 μl 。

如上所述,再次对这些重复二氧化硅洗脱液进行抑制试验。那些仍然被认为受抑制的物质再次重复二氧化硅提取,并再次进行抑制测试。直到所有全浓度洗脱液不受抑制为止。

3. 标准 PCR, 救援 PCR, PEC-P

所有的全浓度、未受抑制洗脱液和原先 1:10 稀释的全浓度洗脱液均进行三种形式的 PCR 反应。首先,“标准” PCR 反应体系包含 $1 \times$ Omni KlenTaq Reaction Buffer, 0.32 mM dNTPs, 0.24 μ M 每种引物, 0.3 U Omni KlenTaq LA 聚合酶, 1.5 μ l 模板 DNA。其次,按照 Johnson 和 Kemp (B. M. Johnson and B. M. Kemp 2017: 683—694) 的描述,进行了增加 25% 的救援 PCR (rescue PCR)。救援 PCR 反应体系包含 $1.25 \times$ Omni KlenTaq Reaction Buffer (含终浓度 4.375 mM $MgCl_2$), 0.4 mM dNTPs, 0.3 μ M 每种引物, 0.375 U Omni KlenTaq LA 聚合酶, 1.5 μ l 模板 DNA。最后,我们使用 PEC-P。这种增强剂的成分是专有的, DNA 聚合酶技术网站 (www.klenTaq.com/) 上没有提供安全数据表。然而,Palmer 等人 (E. Palmer 2018: 143—152) 使用 PEC-P 提高了他们在胡瓜鱼和其他小型鱼类考古遗迹物种鉴定方面的成功率。这些 PCR 反应体系包含 $1 \times$ Omni KlenTaq Reaction Buffer (含终浓度 3.5 mM 的 $MgCl_2$)、0.32 mM dNTPs、0.24 μ M 每种引物、0.3 U Omni KlenTaq LA 聚合酶、20% (v/v) PEC-P 和 1.5 μ l 模板 DNA。三种形式的 PCR 反应均按以下方式进行: (i) 94 $^{\circ}C$ 维持 3 分钟; (ii) 94 $^{\circ}C$ 持续 15 秒,在退火温度下持续 15 秒 (表 S3),在 68 $^{\circ}C$ 条件下进行 15 秒,如此循环 60 次; (iii) 在将反应温度降至 10 $^{\circ}C$ 之前,在 68 $^{\circ}C$ 下再延伸 3 分钟。

4. 引物

表 S3 中列出了引物。对于鲑鱼物种的鉴定,我们使用了乔丹 (Jordan) 等人之前描述过的引物 (L. G. Jordan et al. 2010: 225—228)。需要注意,乔丹等人 (L. G. Jordan 2010: 225—228) 最初描述的反向引物的方向是错误的。修正后的引物为 OST12S-forward (5' -GCTTAAAACCCAAAGGACTTG-3') 和 OST12S-reverse (5' -CTACACCTCGACCTGACGTT-3')。本研究中设计的其他引物用于鉴别驼鹿、野牛、麋鹿、白大角羊和北美驯鹿。

5. 测序结果

测序结果见表 S4,物种鉴定见表 S1。样本 16.179、16.180、16.181、16.182、16.184 和 17.276 鉴定为野牛 (*B. priscus*),以上结果可重复性良好。16.185 样本的 DNA,根据形态学鉴定为野牛,根据 ZooMS 结果也鉴定为野牛 (*Bos*),尽管多次尝试,但未能扩增。

根据引物 Art3F/Art3R 扩增产物鉴定样品 17.284 为北美驯鹿 (*R. tarandus*)。尽管可重复 PCR,但这个观察结果是不可重复的。然而,根据形

态学，这个样本被认为是北美驯鹿。

根据乔丹等人 (L. G. Jordan 2010: 225—228) 的描述, 15.301、16.109 和 17.106 样本鉴定为狗鲑 (Chum salmon) (*O. keta*), 相对于虹鳟鱼 (*Oncorhynchus mykiss*) 显示出以下突变, 参考序列为 (DQ288271.1): 660T 和 713T。样本 17.109、17.110 和 17.112 也被鉴定为狗鲑, 在核苷位点 668 有额外的胸腺嘧啶 (T) 缺失突变。这 6 个鲑类标本结果可重复。17.111 样本单个扩增子显示该样本是一条核苷位点 668 存在 T 缺失的鲑鱼。该样本另外两个扩增子的序列显示了更多但不同的“突变”, 可能是死后损伤造成的。

样本 16.171、16.175 和 16.176 利用 ElkCOIF/ElkCOIR 引物鉴定为麋鹿 (*C. canadensis*), 与参考序列 (JF443209.1) 相匹配。尽管进行了多次扩增尝试, 样本 16.171 只产生了一个扩增子。从样本 16.175 中产生的另外三个扩增子由于不同的突变而与参考序列不同, 可能是死后损伤的产物。从样本 16.176 中测序的第二个扩增子也有损伤迹象, 显示在核苷 230T 和 234T 位点发生突变。样本 16.171、16.175 和 16.176 经形态学鉴定为麋鹿, 通过 ZooMS 鉴定为鹿科。样本 16.168、16.169、16.170、16.172、16.173、16.174、16.177 的 DNA 扩增失败。

(三) 选定动物骨骼的分子分类学鉴定 (ZooMS)

用 50 mM 碳酸氢铵 (ammonium bicarbonate) 重新悬浮约 1—2 mg 的骨胶原 (如下), 并用 0.4 μg 测序级胰蛋白酶 (grade trypsin) (Promega, 英国) 在 37 °C 条件下消化过夜。然后将消化物酸化为 0.1% 三氟乙酸 (trifluoroacetic acid) (TFA), 并分馏成 10% 和 50% 乙腈 (acetonitrile) (在 0.1% TFA 中), 然后通过离心蒸发及重悬于 10 μl 的 0.1% TFA 中干燥至完全。将 1 μl 重悬肽混合物与等量的 α -氰基羟基肉桂酸基质液 (α -cyano hydroxycinnamic acid) (10 mg/ml) (由 50% ACN (乙腈) 配置的 0.1% 的 TFA 制备滴加在不锈钢基质辅助激光解吸 / 电离飞行时间质谱 (MALDI-TOF) 板上, 使其风干。使用 Bruker Ultraflex II 进行 MALDI-TOF 质谱分析, 在质量 / 电荷比为 700 至 3700 的范围内进行 2000 次激光采集, 并将所得光谱与先前公布的参考光谱进行比较 (M. Buckley 2017: 402—411)。结果展示在表 S1、图 S1 和数据文件 S1 中。

(四) 样本前处理和稳定同位素测量

所有碳和氮稳定同位素的测量值均以 δ 表示 (分别为 $\delta^{13}\text{C}$ 与 $\delta^{15}\text{N}$)，国际公认的标准如下： $\delta = (R_{\text{sample}} - R_{\text{standard}}) / R_{\text{standard}}$ ，其中 R 为重同位素与轻同位素的比值 (如 $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$) (T. B. Coplen 2011: 2538—2560)；按照惯例，该数值乘以 1000，以千分之几 (‰) 的形式来表示结果。碳采用国际标准 Vienna Pee Dee belemnite (VPDB)，氮采用国际标准大气 N_2 (AIR)。以下详述了每个实验室将原始同位素测量校正为国际公认标准时所用到的标准物质。

1. 骨胶原 ($\delta^{13}\text{C}$ 与 $\delta^{15}\text{N}$ 的值)

所有人类和动物的骨胶原提取均在同一实验室 (阿拉斯加大学费尔班克斯分校环境考古学实验室) 进行的，用的是之前描述的改进的 Longin (R. Longin 1971: 241—242) 实验方案 (C. M. Halffman et al. 2015: 12344—12348)。简而言之，将骨粉在 0.5 M 盐酸 (HCl) 中脱钙，再经 0.1 M 氢氧化钠 (NaOH) 处理，70 °C 条件下在稀盐酸 (0.001 M pH 3) 凝胶 (gelatinization)。制备的骨胶原样本提交到华盛顿州立大学稳定同位素核心实验室，将 Thermo Finnigan Delta Plus XP 连续流稳定同位素比值质谱仪与 Costech 元素分析仪 (ECS 4010) 连接，进行碳和氮稳定同位素测量。碳和氮稳定同位素组成分别采用 VPDB 和 AIR 进行国际标准校准，使用至少两种内部标准物质 (internal standards)，这些内部标准物质此前已根据国际认证标准进行校准 (表 S16)。此外，所有样本序列采用相同的质量控制检查标准，酪蛋白 (casein) (B2155 元素微量分析)，用于标准化检查。按照 Szpak 等人 (P. Szpak 2017: 609—616) 方法，精密度计算就是相关分析中按照同一校准和检查标准进行的反复测量的合并标准差 (pooled SD)， $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 的精密度均为 $\pm 0.14\text{‰}$ 。佐治亚大学应用同位素研究中心对一份提取的骨胶原样本 (#17.260) 进行了分析。本实验室使用两个内部标准物质，相对于 VPDB 和 AIR 进行校准，菠菜 ($\delta^{13}\text{C} = -27.22\text{‰}$ $\delta^{15}\text{N} = 0.19\text{‰}$) 和牛 ($\delta^{13}\text{C} = -17.53\text{‰}$ $\delta^{15}\text{N} = 8.14\text{‰}$)，这两个标准物质已经根据美国国家标准和技术协会标准校准。

本研究中使用的所有骨胶原样本均符合公认的质量标准： $\% \text{N} > 5\%$ ， $\% \text{C} > 13\%$ ，C/N 原子比为 2.9 至 3.6，胶原蛋白量为 $> 1\%$ (表 S2) (G. J. van Klinken 1999: 687—695; S. H. Ambrose 1990: 431—451; M. J. DeNiro 1985: 806—809; M. P. Richards et al. 2000: 7663—7666)。此外，有蹄类动物的 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 值与之前公布的该地区以及阿拉斯加其他地区的考古样本相

当, 尽管各研究之间存在差异 (D. R. Guthrie 2006: 207—209; B. A. Potter 2012: 71—98; F. B. Lanoë et al. 2017: 85—96; J. A. Leonard 2007: 1146—1150)。我们进一步注意到, 与其他考古和现代太平洋鲑鱼样本一样, 我们的鲑鱼样本与其他海洋鱼类相比, ^{13}C 相对匮乏, 这可能与鲑鱼的海上觅食位置有关 (P. Szpak et al. 2009: 2734—2741; S. P. Johnson and D. E. Schindler 2009: 855—863; N. Misart et al. 2009: 1139—1151; K. Britton et al. 2018: 950—963; D. A. Byers et al. 2011: 183—196)。

2. EAAS 骨胶原 ($\delta^{13}\text{C}$ 值)

我们在阿拉斯加大学费尔班克斯分校的阿拉斯加稳定同位素实验室 (ASIF) 利用气相色谱-燃烧-稳定同位素比值质谱仪 (GC-C-IRMS) 测量氨基酸 $\delta^{13}\text{C}$ 值。为了制备用于分析的样本, 我们使用 1 ml HCl (6 M) 在 $110\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下水解干胶原蛋白 ($\sim 1\text{ mg}$) 20 小时, 然后在氮气 (N_2) 中干燥。我们将氨基酸衍生为 N-乙酰基甲酯 (NACMEs), 用 GC-C-IRMS 进行分析 (L. T. Corr et al. 2007: 3759—3771)。首先, 我们用酸化的甲醇 (acidified methanol) 将氨基酸甲基化, 制备方法是在冰浴中向甲醇加入乙酰氯 (acetyl chloride to methanol) (1:6, v/v)。甲基化在 $75\text{ }^{\circ}\text{C}$ 孵育 1 小时完成。然后将样本在氮气中干燥, 并添加乙酸酐 (acetic anhydride)、三乙胺 (triethylamine) 和丙酮 (acetone) (1:2:5, v/v/v) 进行乙酰化, 在 $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下孵育 10 分钟。将 NACMEs (即衍生氨基酸) 干燥, 用磷酸盐缓冲液 (phosphate buffer) [1 M 磷酸钾 (potassium phosphate) 和 1 M 磷酸钠 (sodium phosphate) (pH7) 冲洗, 用氯仿 (chloroform) 萃取, 再用氮气重新干燥。最后, 将 NACMEs 溶解在乙酸乙酯 (ethyl acetate) 中。制备样本同时, 还需要准备已知 $\delta^{13}\text{C}$ 值的氨基酸标准混合物, 并在标准物质和样本中添加内标物 (正亮氨酸 norleucine)。将氨基酸 NACMEs 注入到 TRACE 1310 GC 气相色谱仪中的 VF-35ms 色谱柱 (安捷伦 Agilent), TRACE 1310 GC 与 Isolink II 配套使用, 燃烧成 CO_2 气体, 利用同位素质谱仪 Delta V Plus IRMS (Thermo Scientific) 测量单个 NACME 峰的碳同位素比值。 $\delta^{13}\text{C}$ 的计算基于 NACME 峰积分, 同位素比质谱软件 Isodat (版本 3.0, Thermo Scientific) 执行计算。对峰积分进行目视评估, 以准确判断设置峰宽和背景以及峰之间适当的基线分离, 对峰集成进行目视评估。我们测量了 6 种 EAAs 的 $\delta^{13}\text{C}$: 异亮氨酸 (Ile)、亮氨酸 (Leu)、赖氨酸 (Lys)、苯丙氨酸 (Phe)、苏氨酸 (Thr) 和缬氨酸 (Val)。参考标准氨基酸 $\delta^{13}\text{C}$ 值, 测定单个氨基酸 $\delta^{13}\text{C}$ 值; 这些是

内部 (in-house ASIF) 标准, 其衍生化前的 $\delta^{13}\text{C}$ 列于表 S17。内标物 (而非国际标准物) 单个氨基酸用于解释批量样本衍生化过程中对细微不同分馏的潜在影响, 并允许对衍生化过程中添加的碳进行校正 (T. Larsen et al. 2013; L. T. Corr 2007: 3759—3771)。标准物和样本中氨基酸的分析精密度均 $< 0.3\text{‰}$ (苯丙氨酸除外, 样本中苯丙氨酸 $< 0.8\text{‰}$, 标准物中苯丙氨酸 $< 0.2\text{‰}$)。

3. 骨生物磷灰石 ($\delta^{13}\text{C}$ 值)

USR1 骨样本产生了足够的骨粉, 可以提取胶原蛋白和生物磷灰石, 但 USR2 骨样本在提取胶原时就用完了。对 Garvie-Lok 等人 (S. J. Garvie-Lok 2004: 763—776) 的方法稍作改动后, 用以提取 USR1 的骨生物磷灰石。简单来说, 将骨粉浸泡在 2% 次氯酸钠 (NaOCl) 中 48 小时 (24 小时后重新换液), 接着通过在 0.1 M 乙酸 (acetic acid) (无缓冲) 中处理 24 小时以清洗和去除碳酸盐污染, 最后冲洗和冷冻干燥 48 小时, 通过此过程去除骨粉中的有机物。生物磷灰石样本提交到加州大学圣克鲁兹稳定同位素实验室 Santa Cruz Stable Isotope Laboratory, 使用与稳定同位素质谱仪 Thermo Scientific MAT 253 相连的碳酸盐自动进样设备酸消化后进行碳稳定同位素测量。使用 NBS-18 标样和内部标准 CM12 (Carrara Marble; $\delta^{13}\text{C} = 2.05\text{‰}$), 对碳稳定同位素组成相对于 VPDB 进行校准。内部标准之前已根据 NBS-19 和 NBS-18 进行了校准。 $\delta^{13}\text{C}$ 在分析运行中的精度按上述描述方法计算, 结果为 0.11‰ 。

4. 牙釉质 ($\delta^{13}\text{C}$ 值)

对 USR1 的一颗牙齿 (右上颌乳侧切牙) 的牙釉质连续取样用于 $\delta^{13}\text{C}$ 分析。尝试对 USR2 牙釉质连续取样, 但样本量太小, 无法进行分析。因为牙釉质是逐渐形成的, 而且一旦形成就不会再重塑, 所以可以用连续样本来检测牙齿形成过程中饮食的变化。上颌第二乳切牙的牙釉质形成大约始于出生前 163 天 (孕 17 周) (P. Mahoney 2012: 637—651)。假设死亡时间在 8 月初, 如果 USR1 出生时死亡 (孕 40 周), 则她的上颌第二乳切牙牙釉质可能在 3 月初开始形成, 而如果 USR1 出生后存活数周, 那么牙釉质开始形成的时间将会相应地前推 (例如, 如果 USR1 存活 3 周则为 2 月中旬, 如果 USR1 存活 6 周则为 1 月中旬, 等等)。牙齿发育时, 牙釉质形成始于牙尖端, 然后是牙颈部。在牙齿的两个位置连续取样, 一个 (牙尖) 反映早期发育 (即春季), 另一个 (牙颈) 反映后期发育 (即夏季)。

为制备牙釉质生物磷灰石, 首先对牙齿进行机械清洁去除表面污染物, 然后在去离子双蒸馏水 (DDH_2O) 中超声清洁 30 分钟。清洁后从牙

齿上钻取大约 2.0 mg 牙釉质粉。得到的样本首先在微量离心管中用 3% 过氧化氢 (H_2O_2) 处理 15 分钟, 然后用 DDH_2O 冲洗 3 次, 再用 0.1 M 乙酸 (CH_3COOH) 处理 15 分钟。样本再次用 DDH_2O 冲洗 3 次, 然后在 60°C 的烘箱中干燥过夜。 $\delta^{13}\text{C}$ 值是由犹他州盐湖城 IsoForensics 公司通过 GasBench (Thermo Scientific) 与连续流同位素质谱 (Thermo Finnigan MAT 253) IRMS 联用测量的。使用标准物质 NBS-19 和 LSVEC, 碳稳定同位素组成参照 VPDB 校准。 $\delta^{13}\text{C}$ 在分析运行中的精密度按上述方法计算, 为 0.10‰。

(五) 稳定同位素混合模型与膳食估算

为了估算食物来源对 USR 婴儿母亲饮食的贡献比例, 我们使用 MixSIAR (B. C. Stock et al. 2018), 这是一个贝叶斯稳定同位素混合模型框架, 属于 R 开源软件包。

1. 食物来源选择与聚集

使用稳定同位素混合模型进行饮食估算时, 饮食来源的数量应尽可能少, 但不能排除重要来源 (B. C. Stock 2018; D. L. Phillips 2014: 823—835; C. J. Brown 2018: 597—608)。贝叶斯混合模型假设模型中包含的所有来源都对饮食有贡献, 所以保证模型只包括实际消费的来源是很重要的 (C. J. Brown 2018: 597—608)。在 MixSIAR 分析中, 我们只包括 5 种来源 (野牛、鲑鱼、小型猎物、马鹿和白鲑), 这 5 种来源在上文中称为“主要动物群”。

2. 营养鉴别因子

根据博切伦斯 (Bocherens) 等人 (H. Bocherens 2015: 211—228), 我们使用以下胶原蛋白来源/胶原蛋白消费者 TDFs (含相关 SDs): $\Delta^{13}\text{C}_{\text{consumer collagen} - \text{source collagen}} = 1.1 \pm 0.2\text{‰}$, $\Delta^{15}\text{N}_{\text{consumer collagen} - \text{source collagen}} = 3.8 \pm 1.1\text{‰}$ 。我们进一步假设胎儿和新生儿的骨胶原同位素值反映了母亲的饮食 (在调整标准 TDF 后), 但还有需要注意的地方。这一假设得到了存活的母亲/婴儿的蛋白质硬组织 (指甲) 的有限同位素分析的支持, 这些分析表明, 新生儿与母亲的指甲 $\delta^{15}\text{N}$ 和 $\delta^{13}\text{C}$ 值相似 (B. T. Fuller et al. 2006: 279—293; M. L. Fogel et al. 1989: 111—117)。一项对新生儿与母亲毛发的研究同样发现, 两者的 $\delta^{13}\text{C}$ 值的差异可以忽略不计 (+0.4‰), 而 $\delta^{15}\text{N}$ 值的差异为 +0.9‰ (A. de Luca 2012: 598—604)。对成人和婴儿骨胶原同位素值 $\delta^{15}\text{N}$ 值的比较考古研究结果多种多样, 雷纳德 (Reynard) 和图罗斯 (Tuross), (L. M. Reynard and N. Tuross 2015: 618—625) 利用荟萃分析 (meta-analysis)

表明, 新生儿骨胶原 $\delta^{15}\text{N}$ 值与成年女性的平均值大体相当。

3. 解决 TDF 中 $\delta^{15}\text{N}$ 不稳定性 ($\Delta^{15}\text{N}$)

为了解决消费者和来源胶原蛋白之间, 以及母亲饮食和胎儿 / 新生儿骨胶原蛋白之间 $\Delta^{15}\text{N}$ 的不稳定性, (i) 我们在 $\Delta^{15}\text{N}$ 同位素混合模型中添加了一个方差参数, (ii) 我们探索了模型平均贡献率估算对不同大小 $\Delta^{15}\text{N}$ 的敏感性。我们将 $\Delta^{15}\text{N}$ 方差设为 1.2‰, Bocherens 等人 (H. Bocherens 2015: 211—228) 在对 $\delta^{15}\text{N}$ 值中的猎物-捕食者、胶原蛋白-胶原蛋白偏移的荟萃分析中发现 SD 的平方为 1.1‰。我们将模型初始值设为 3.8‰ (模型选择范围从 2.8‰ 到 5.8‰), 以 1‰ 的幅度改变 $\Delta^{15}\text{N}$, 以接近报告的人类和其他哺乳动物的氮同位素 TDFs 范围 (T. C. O'Connell 2012: 426—434; M. A. Vanderklift and S. Ponsard 2003: 169—182)。

(六) 数据分析

我们使用贝叶斯多源混合模型 MixSIAR (B. C. Stock et al. 2018) 来估算 USR1 和 USR2 的母亲膳食蛋白质来源。USR1 和 USR2 分别运行 MixSIAR 模型。表 S8 提供了模型中包含的消费者和食物源同位素值、TDFs 和相关不确定性。马尔科夫链蒙特卡罗 (Markov chain Monte Carlo parameters) 参数如下: (i) “正常”运行: 链长 = 100000, 老化 = 50000, 细化 = 50, 链 = 3; (ii) alpha.prior: 狄利克雷先验 Dirichlet prior (默认, 1; 无信息); 和 (iii) 误差结构: 残差错误: FALSE (不包括) 和过程错误: TRUE (包括) (注意, 这是唯一适合拟合单个消费者的误差结构)。(B. C. Stock et al. 2018)

补充材料

这篇文章的补充材料可在 <http://advances.sciencemag.org/cgi/content/full/6/36/eabc1968/DC1> 获得。

致谢: 在此感谢希利湖部落理事会和塔纳纳酋长会议的代表的支持; 感谢 UAMN 的收藏经理 S. Shirar 协助挑选藏品; 感谢 C. Monroe, R. Frome, M. Labonte 和 E. Palmer 在实验室进行的基因物种鉴定和其他协助 (俄克拉荷马州大学); 感谢 IsoForensics 和 L. Chesson 对牙釉质样本进行同位素分析。

资助: 这项工作一定程度上得到了 NSF 基金的支持, 项目编号 NSF

1521501, 项目负责人 C. M. H., B. A. P., and J. D. R., 此项目与 B. M. K. 签订子项目合同; B. A. P. 主持的项目, 编号为 NSF 1223119、1439293 和 1558332; B. P. F. 主持的项目, 编号 NSF 1521365; M. J. W. 主持的用于仪器的项目, 编号 M. J. Murdock Charitable Trust Grant SR-201811010。

参考文献

- A. de Luca, N. Boisseau, I. Tea, I. Louvet, R. J. Robins, A. Forhan, M. A. Charles, R. Hankard
2012 $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$ in hair from newborn infants and their mothers: A cohort study. *Pediatr. Res.* 71: 598—604.
- A. Rohatgi
2018 WebPlotDigitizer Version 4.1; <https://automeris.io/WebPlotDigitizer>.
- A. W. Froehle, C. M. Kellner, M. J. Schoeninger
2010 FOCUS: Effect of diet and protein source on carbon stable isotope ratios in collagen: Follow up to Warinner and Tuross (2009). *J. Archaeol. Sci.* 37: 2662—2670.
- B. A. Potter
2008a A first approximation of Holocene inter-assemblage variability in central Alaska. *Arct. Anthropol.* 45: 89—113.
2008b Radiocarbon chronology of central Alaska: Technological continuity and economic change. *Radiocarbon* 50: 181—204.
2007 Models of faunal processing and economy in early Holocene interior Alaska. *Environ. Archaeol* 12: 3—23.
2005 Site structure and organization in Central Alaska: Archaeological investigations at Gerstle River, thesis, University of Alaska Fairbanks.
- B. A. Potter, C. E. Holmes, D. R. Yesner
2013 Technology and economy among the earliest prehistoric foragers in interior eastern Beringia. *In* *Paleoamerican Odyssey*. K. E. Graf, C. V. Ketron, M. R. Waters, ed. pp. 81—103. Center for the Study of the First Americans, Texas A&M University.
- B. A. Potter, E. P. Gaines, P. M. Bowers, M. Proue

- 2007 “Results of the 2006 cultural resource survey of proposed Alaska Railroad northern rail extension routes and ancillary facilities, Alaska” (NLUR technical report #278b-c, Northern Land Use Research Inc.).
- B. A. Potter, J. D. Irish, J. D. Reuther, C. Gelvin-Reymiller, V. T. Holliday
- 2011 A terminal Pleistocene child cremation and residential structure from eastern Beringia. *Science* 331: 1058—1062.
- B. A. Potter, J. D. Irish, J. D. Reuther, H. J. McKinney
- 2014 New insights into Eastern Beringian mortuary behavior: A terminal Pleistocene double infant burial at Upward Sun River. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 111: 17060—17065.
- B. A. Potter, J. D. Reuther, B. A. Newbold, D. T. Yoder
- 2012 High resolution radiocarbon dating at the Gerstle River Site, central Alaska. *Am. Antiq.* 77: 71—98.
- B. A. Potter, J. D. Reuther
- 2018 Site chronology. *In* *Archaeological Investigations at Delta River Overlook*. B. A. Potter, ed. pp. 58—70. Archaeology GIS Laboratory, University of Alaska Fairbanks.
- B. C. Stock, A. L. Jackson, E. J. Ward, A. C. Parnell, D. L. Phillips, B. X. Semmens
- 2018 Analyzing mixing systems using a new generation of Bayesian tracer mixing models. *PeerJ* 6, e5096.
- B. C. Stock, B. X. Semmens
- 2016 MixSIAR GUI user manual v3.1; <https://github.com/brianstock/MixSIAR/>.
- B. Espinasse, B. P. V. Hunt, Y. D. Coll, E. A. Pakhomov
- 2018 Investigating high seas foraging conditions for salmon in the North Pacific: Insights from a 100-year scale archive for Rivers Inlet sockeye salmon. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 76: 918—927.
- B. M. Johnson, B. M. Kemp
- 2017 Rescue PCR: Reagent-rich PCR recipe improves amplification of degraded DNA extracts. *J. Archaeol. Sci. Rep.* 11: 683—694.
- B. M. Kemp, C. Monroe, K. G. Judd, E. Reams, C. Grier
- 2014 Evaluation of methods that subdue the effects of polymerase chain reaction

- inhibitors in the study of ancient and degraded DNA. *J. Archaeol. Sci.* 42: 373—380.
- B. M. Kemp, K. Judd, C. Monroe, J. W. Eerkens, L. Hilldorfer, C. Cordray, R. Schad, E. Reams, S. G. Ortman, T. A. Kohler
2017 Prehistoric mitochondrial DNA of domesticate animals supports a 13th century exodus from the northern US southwest. *PLOS ONE* 12, e0178882.
- B. Shapiro, A. J. Drummond, A. Rambaut, M. C. Wilson, P. E. Matheus, A. V. Sher, O. G. Pybus, M. T. P. Gilbert, I. Barnes, J. Binladen, E. Willerslev, A. J. Hansen, G. F. Baryshnikov, J. A. Burns, S. Davydov, J. C. Driver, D. G. Froese, C. R. Harington, G. Keddie, P. Kosintsev, M. L. Kunz, L. D. Martin, R. O. Stephenson, J. Storer, R. Tedford, S. Zimov, A. Cooper
2004 Rise and fall of the Beringian steppe bison. *Science* 306: 1561—1565.
- B. T. Fuller, J. L. Fuller, D. A. Harris, R. E. M. Hedges
2006 Detection of breastfeeding and weaning in modern human infants with carbon and nitrogen stable isotope ratios. *Am. J. Phys. Anthropol.* 129: 279—293.
- C. Ballew, A. Ross, R. S. Wells, V. Hiratsuka
2004 Final Report on the Alaska Traditional Diet Survey. Alaska Native Health Board.
- C. J. Brown, M. T. Brett, M. F. Adame, B. Stewart-Koster, S. E. Bunn
2018 Quantifying learning in biotracer studies. *Oecologia* 187: 597—608.
- C. L. Buck, B. M. Barnes
1999 Annual cycle of body composition and hibernation in free-living arctic ground squirrels. *J. Mammal.* 80: 430—442.
- C. M. Halffman, B. A. Potter, H. J. McKinney, B. P. Finney, A. T. Rodrigues, D. Y. Yang, B. M. Kemp
2015 Early human use of anadromous salmon in North America at 11, 500 y ago. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 112: 12344—12348.
- C. R. Harington, Ed.
2003 Annotated Bibliography of Quaternary Vertebrates of Northern North America. University of Toronto Press.
- C. R. Holloway
2016 Paleoethnobotany in interior Alaska, thesis, University of Alaska Fairbanks.

- D. A. Byers, D. R. Yesner, J. M. Broughton, J. B. Coltrain
2011 Stable isotope chemistry, population histories and late prehistoric subsistence change in the Aleutian Islands. *J. Archaeol. Sci.* 38: 183—196.
- D. H. Mann, P. Groves, M. L. Kunz, R. E. Reanier, B. V. Gaglioti
2013 Ice-age megafauna in Arctic Alaska: Extinction, invasion, survival. *Quat. Sci. Rev.* 70: 91—108.
- D. L. Phillips, J. W. Gregg
2003 Source partitioning using stable isotopes: Coping with too many sources. *Oecologia* 136: 261—269.
- D. L. Phillips, R. Inger, S. Bearhop, A. L. Jackson, J. W. Moore, A. C. Parnell, B. X. Semmens, E. J. Ward
2014 Best practices for use of stable isotope mixing models in food-web studies. *Can. J. Zool.* 92: 823—835.
- D. R. Guthrie
2006 New carbon dates link climatic change with human colonization and Pleistocene extinctions. *Nature* 441: 207—209.
- D. R. Yesner
2007 Faunal extinction, hunter-gatherer foraging strategies, and subsistence diversity among eastern Beringian Paleoindians. *In Foragers of the Terminal Pleistocene in North America*. R. B. Walker, B. N. Driskell, ed. pp. 15—31. University of Nebraska Press.
- 2011 Human dispersal into interior Alaska: Antecedent conditions, mode of colonization, and adaptation. *Quat. Sci. Rev.* 20: 315—327.
- 1989 Moose hunters of the boreal forest? A re-examination of subsistence patterns in the western subarctic. *Arctic* 42: 97—108.
- E. C. Webb, J. Lewis, A. Shain, E. Kastrisianaki-Guyton, N. V. Honch, A. Stewart, B. Miller, J. Tarlton, R. P. Evershed
2017 The influence of varying proportions of terrestrial and marine dietary protein on the stable carbon-isotope compositions of pig tissues from a controlled feeding experiment. *Sci. Technol. Archaeolog. Res.* 3: 28—44.
- E. C. Webb, N. V. Honch, P. J. H. Dunn, A. Linderholm, G. Eriksson, K. Lidén, R. P. Evershed

- 2018 Compound-specific amino acid isotopic proxies for distinguishing between terrestrial and aquatic resource consumption. *Archaeol. Anthropol. Sci.* 10: 1—18.
- E. C. Webb, N. V. Honch, P. J. H. Dunn, G. Eriksson, K. Lidén, R. P. Evershed
- 2015 Compound-specific amino acid isotopic proxies for detecting freshwater resource consumption. *J. Archaeol. Sci.* 63: 104—114.
- E. Guiry, T. C. A. Royle, R. G. Matson, H. Ward, T. Weir, N. Waber, T. J. Brown, B. P. V. Hunt, M. H. H. Price, B. P. Finney, M. Kaeriyama, Y. Qin, D. Y. Yang, P. Szpak
- 2020 Differentiating salmonid migratory ecotypes through stable isotope analysis of collagen: Archaeological and ecological applications. *PLOS ONE* 15, e0232180.
- E. J. Bartelink
- 2006 Resource intensification in pre-contact central California: A bioarchaeological perspective on diet and health patterns among hunter-gatherers from the lower Sacramento Valley and San Francisco Bay, thesis, Texas A&M University.
- E. J. Reitz, E. S. Wing
- 1999 *Zooarchaeology*. Cambridge Univ. Press.
- E. Palmer, S. Tushingham, B. M. Kemp
- 2018 Human use of small forage fish: Improved ancient DNA species identification techniques reveal long term record of sustainable mass harvesting of smelt fishery in the northeast Pacific Rim. *J. Archaeol. Sci.* 99: 143—152.
- F. B. Lanoë, J. D. Reuther, C. E. Holmes, B. A. Potter
- 2019 Small mammals and paleoenvironmental context of the terminal pleistocene and early holocene human occupation of central Alaska. *Geoarchaeology* 35: 64—176.
- F. B. Lanoë, J. D. Reuther, C. E. Holmes, G. W. L. Hodgins
- 2017 Human paleoecological integration in subarctic eastern Beringia. *Quat. Sci. Rev.* 175: 85—96.
- F. Rauch, E. Schoenau
- 2001 Changes in bone density during childhood and adolescence: An approach based on bone's biological organization. *J. Bone Miner. Res.* 16: 597—604.

G. J. van Klinken

1999 Bone collagen quality indicators for palaeodietary and radiocarbon measurements. *J. Archaeol. Sci.* 26: 687—695.

H. Bocherens, D. G. Drucker, M. Germonpré, M. Lázničková-Galetová, Y. I. Naito, C. Wissing, J. Brůžek, M. Oliva

2015 Reconstruction of the Gravettian food-web at Předmostí I using multi-isotopic tracking (^{13}C , ^{15}N , ^{34}S) of bone collagen. *Quat. Int.* 359—360, 211—228.

H. T. Allen

1887 Report of an Expedition to the Copper, Tananá, and Kóyukuk Rivers, in the Territory of Alaska, in the Year 1885. Government Printing Office.

J. A. Leonard, C. Vila, K. Fox-Dobbs, P. L. Koch, R. K. Wayne, B. Van Valkenburgh

2007 Megafaunal extinctions and the disappearance of a specialized wolf ecomorph. *Curr. Biol.* 17: 1146—1150.

J. C. Tackney, B. A. Potter, J. Raff, M. Powers, W. S. Watkins, D. Warner, J. D. Reuther, J. D. Irish, D. H. O'Rourke

2015 Two contemporaneous mitogenomes from terminal Pleistocene burials in eastern Beringia. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 112: 13833—13838.

J. L. Barta, C. Monroe, B. M. Kemp

2013 Further evaluation of the efficacy of contamination removal from bone surfaces. *Forensic Sci. Int.* 231: 340—348.

J. P. Cook

1989 Historic archaeology and ethnohistory at Healy Lake, Alaska. *Arctic* 42: 109—118.

J. Tackney, J. Coltrain, J. Raff, D. O'Rourke

2016 Ancient DNA and stable isotopes: Windows on Arctic prehistory. *In* The Oxford Handbook of the Prehistoric Arctic. T. M. Friesen, O. K. Mason, Eds. (Oxford Univ. Press), pp. 51—79.

J. V. Moreno-Mayar, B. A. Potter, L. Vinner, M. Steinrücken, S. Rasmussen, J. Terhorst, J. A. Kamm, A. Albrechtsen, A.-S. Malaspinas, M. Sikora, J. D. Reuther, J. D. Irish, R. S. Malhi, L. Orlando, Y. S. Song, R. Nielsen, D. J. Meltzer, E. Willerslev

- 2018 Terminal Pleistocene Alaskan genome reveals first founding population of Native Americans. *Nature* 553: 203—207.
- J. W. Wood
- 1994 Dynamics of Human Reproduction: Biology, Biometry, Demography. Aldine De Gruyter.
- K. A. Hobson, L. Atwell, L. I. Wassenaar, T. Yerkes
- 2004 Estimating endogenous nutrient allocations to reproduction in Redhead Ducks: A dual isotope approach using dD and $\delta^{13}\text{C}$ measurements of female and egg tissues. *Funct. Ecol.* 18: 737—745.
- K. A. Hobson, R. G. Clark
- 1992 Assessing avian diets using stable isotopes I: Turnover of ^{13}C in tissues. *The Condor* 94: 181—188.
- K. Britton, E. McManus-Fry, O. Nehlich, M. Richards, P. M. Ledger, R. Knecht
- 2018 Stable carbon, nitrogen and sulphur isotope analysis of permafrost preserved human hair from rescue excavations (2009, 2010) at the precontact site of Nunalleq, Alaska. *J. Archaeol. Sci. Rep.* 17: 950—963.
- K. Choy, B. A. Potter, H. J. McKinney, J. D. Reuther, S. W. Wang, M. J. Wooller
- 2016 Chemical profiling of ancient hearths reveals recurrent salmon use in Ice Age Beringia. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 113: 9757—9762.
- K. Choy, C. I. Smith, B. T. Fuller, M. P. Richards
- 2010 Investigation of amino acid $\delta^{13}\text{C}$ signatures in bone collagen to reconstruct human palaeodiets using liquid chromatography— isotope ratio mass spectrometry. *Geochim. Cosmochim. Acta* 74: 6093—6111.
- K. Nakano, T. Iwamatsu, C. M. Wang, M. Tarasima, T. Nakayama, K. Sasaki, E. Tachikawa, N. Noda, E. Mizoguchi, M. Osawa
- 2006 High bone turnover of type I collagen depends on fetal growth. *Bone* 38: 249—256.
- L. Cordain, J. B. Miller, S. B. Eaton, N. Mann, S. H. Holt, J. D. Spath
- 2000 Plant-animal subsistence ratios and macronutrient energy estimations in worldwide hunter-gatherer diets. *Am. J. Clin. Nutr.* 71: 682—692.
- L. G. Jordan, C. A. Steele, G. H. Thorgaard
- 2010 Universal mtDNA primers for species identification of degraded bony fish

- samples. *Mol. Ecol. Resour.* 10: 225—228.
- L. Halpin
1987 *Living Off the Land: Contemporary Subsistence in Tetlin, Alaska*. Alaska Department of Fish and Game.
- L. M. Reynard, N. Tuross
2015 The known, the unknown and the unknowable: Weaning times from archaeological bones using nitrogen isotope ratios. *J. Archaeol. Sci.* 53: 618—625.
- L. T. Corr, R. Berstan, R. P. Evershed
2007 Optimisation of derivatisation procedures for the determination of $\delta^{13}\text{C}$ values of amino acids by gas chromatography/combustion/, isotope ratio mass spectrometry. *Rapid Commun. Mass Spectrom.* 21: 3759—3771.
- M. A. Vanderklift, S. Ponsard
2003 Sources of variation in consumer-diet $\delta^{15}\text{N}$ enrichment: A meta-analysis. *Oecologia* 136: 169—182.
- M. Balasse
2002 Reconstructing dietary and environmental history from enamel isotopic analysis: Time resolution of intra-tooth sequential sampling. *Int. J. Osteoarchaeol.* 12: 155—165.
- M. Buckley, V. L. Harvey, A. T. Chamberlain
2017 Species identification and decay assessment of Late Pleistocene fragmentary vertebrate remains from Pin Hole Cave (Creswell Crags , UK) using collagen fingerprinting. *Boreas* 46: 402—411.
- M. D. Cannon, D. J. Meltzer
2008 Explaining variability in Early Paleoindian foraging. *Quat. Int.* 191: 5—17.
- M. J. DeNiro
1985 Postmortem preservation and alteration of in vivo bone collagen isotope ratios in relation to palaeodietary reconstruction. *Nature* 317: 806—809.
- M. J. Sheriff, C. L. Buck, B. M. Barnes
2015 Autumn conditions as a driver of spring phenology in a free-living arctic mammal. *Clim. Change Resp.* 2, 4.
- M. J. Sheriff, R. Boonstra, R. Palme, C. L. Buck, B. M. Barnes

- 2017 Coping with differences in snow cover: The impact on the condition, physiology and fitness of an arctic hibernator. *Conserv. Physiol.* 5, cox065.
M. J. Wooller, G. D. Zazula, M. Edwards, D. G. Froese, R. D. Boone, C. Parker, B. Bennett
- 2007 Stable carbon isotope compositions of eastern Beringian grasses and sedges: Investigating their potential as paleoenvironmental indicators. *Arct., Antarc., Alp. Res.* 39: 318—331.
M. J. Wooller, J. Kurek, B. V. Gaglioti, L. C. Cwynar, N. Bigelow, J. D. Reuther, C. GelvinReymiller, J. P. Smol
- 2012 An ~11, 200 year paleolimnological perspective for emerging archaeological findings at Quartz Lake, Alaska. *J. Paleolimnol.* 48: 83—99.
M. L. Fogel, N. Tuross, D. W. Owsley
- 1989 Nitrogen isotope tracers of human lactation in modern and archaeological populations. *In Annual report of the Director of the Geophysical Laboratory. 1988—1989.* pp. 111—117. Carnegie Institution.
- M. M. Beasley, E. J. Bartelink, L. Taylor, R. M. Miller
- 2014 Comparison of transmission FTIR, ATR, and DRIFT spectra: Implications for assessment of bone bioapatite diagenesis. *J. Archaeol. Sci.* 46: 16—22.
- M. Meiri, A. M. Lister, M. J. Collins, N. Tuross, T. Goebel, S. Blockley, G. D. Zazula, N. van Doorn, R. Dale Guthrie, G. G. Boeskorov, G. F. Baryshnikov, A. Sher, I. Barnes
- 2014 Faunal record identifies Bering isthmus conditions as constraint to end-Pleistocene migration to the New World. *Proc. Biol. Sci.* 281: 20132167.
M. P. Richards
- 2020 Isotope analysis for diet studies. *In Archaeological Science: An Introduction.* M. P. Richards, K. Britton, ed. pp. 125—143. Cambridge Univ. Press.
- M. P. Richards, P. B. Pettitt, E. Trinkaus, F. H. Smith, M. Paunović, I. Karavanić
- 2000 Neanderthal diet at Vindija and Neanderthal predation: The evidence from stable isotopes. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 97: 7663—7666.
M. P. Richards, R. E. M. Hedges
- 2003 Variations in bone collagen $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ values of fauna from Northwest Europe over the last 40000 years. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*

193: 261—267.

M. P. Richards, S. Mays, B. T. Fuller

2002 Stable carbon and nitrogen isotope values of bone and teeth reflect weaning age at the medieval Wharram Percy site, Yorkshire, UK. *Am. J. Phys. Anthropol.* 119: 205—210.

M. Raghavan, J. S. O. McCullagh, N. Lynnerup, R. E. M. Hedges

2010 Amino acid $\delta^{13}\text{C}$ analysis of hair proteins and bone collagen using liquid chromatography/isotope ratio mass spectrometry: Paleodietary implications from intra-individual comparisons. *Rapid Commun. Mass Spectrom.* 24: 541—548.

M. Trotter, B. B. Hixon

1974 Sequential changes in weight, density, and percentage ash weight of human skeletons from an early fetal period through old age. *Anat. Rec.* 179: 1—18.

N. Misarti, B. Finney, H. Maschner, M. J. Wooller

2009 Changes in northeast Pacific marine ecosystems over the last 4500 years: Evidence from stable isotope analysis of bone collagen from archeological middens. *The Holocene* 19: 1139—1151.

N. V. Honch, J. S. O. McCullagh, R. E. M. Hedges

2012 Variation of bone collagen amino acid $\delta^{13}\text{C}$ values in archaeological humans and fauna with different dietary regimes: Developing frameworks of dietary discrimination. *Am. J. Phys. Anthropol.* 148: 495—511.

P. M. Bowers, J. D. Reuther

2008 AMS re-dating of the Carlo Creek Site, Nenana Valley, central Alaska. *Curr. Res. Pleist.* 25: 58—61.

P. Mahoney

2012 Incremental enamel development in modern human deciduous anterior teeth. *Am. J. Phys. Anthropol.* 147: 637—651.

P. Szpak, J. Z. Metcalfe

2017 R. A. Macdonald, Best practices for calibrating and reporting stable isotope measurements in archaeology. *J. Archaeol. Sci. Rep.* 13: 609—616.

P. Szpak, T. J. Orchard, D. R. Gröcke

2009 A Late Holocene vertebrate food web from southern Haida Gwaii (Queen

- Charlotte Islands, British Columbia). *J. Archaeol. Sci.* 36: 2734—2741.
- R Core Team
2017 R: A language and environment for statistical computing (R Foundation for Statistical Computing, 2017); www.R-project.org/.
- R. A. McKennan
1959 The Upper Tanana Indians. *Yale University Publications in Anthropology*, No. 55. Yale University.
- R. E. M. Hedges, R. E. Stevens, M. P. Richards
2004 Bone as a stable isotope archive for local climatic information. *Quat. Sci. Rev.* 23: 959—965.
- R. Fernandes, M.-J. Nadeau, P. M. Grootes
2012 Macronutrient-based model for dietary carbon routing in bone collagen and bioapatite. *Archaeol. Anthropol. Sci.* 4: 291—301.
- R. G. Harrison, M. A. Katzenberg
2003 Paleodiet studies using stable carbon isotopes from bone apatite and collagen: Examples from Southern Ontario and San Nicolas Island, California. *J. Anthropol. Archaeol.* 22: 227—244.
- R. Longin
1971 New method of collagen extraction for radiocarbon dating. *Nature* 230: 241—242.
- R. W. Leggett, K. F. Eckerman, L. R. Williams
1982 Strontium-90 in bone: A case study in age-dependent dosimetric modeling. *Health Phys.* 43: 307—322.
- S. E. Alter, S. D. Newsome, S. R. Palumbi
2012 Pre-whaling genetic diversity and population ecology in eastern Pacific gray whales: Insights from ancient DNA and stable isotopes. *PLOS ONE* 7, e35039.
- S. H. Ambrose, L. Norr
1993 Experimental evidence for the relationship of the carbon isotope ratios of whole diet and dietary protein to those of bone collagen and carbonate. *In Prehistoric Human Bone: Archaeology at the Molecular Level*. J. B. Lambert, G. Grupe, Eds. (Springer-Verlag), pp. 1—37.

S. H. Ambrose

1990 Preparation and characterization of bone and tooth collagen for isotopic analysis. *J. Archaeol. Sci.* 17: 431—451.

S. J. AlQahtani, M. P. Hector, H. M. Liversidge

2014 Accuracy of dental age estimation charts: Schour and Massler, Ubelaker and the London Atlas. *Am. J. Phys. Anthropol.* 154: 70—78.

S. J. Garvie-Lok, T. L. Varney, M. A. Katzenberg

2004 Preparation of bone carbonate for stable isotope analysis: The effects of treatment time and acid concentration. *J. Archaeol. Sci.* 31: 763—776.

S. P. Johnson, D. E. Schindler

2009 Trophic ecology of Pacific salmon (*Oncorhynchus* spp.) in the ocean: A synthesis of stable isotope research. *Ecol. Res.* 24: 855—863.

T. A. Cappiello, J. F. Bromaghin

1997 Mark-recapt ure abundance estimate of fall-run chum salmon in the Upper Tanana River, Alaska, 1995. *Alaska Fishery Research Bulletin* 4: 12—35.

T. A. Surovell, N. M. Waguespack

2009 Human prey choice in the late Pleistocene and its relation to megafaunal extinctions. *In* *American Megafaunal Extinctions at the End of the Pleistocene*. G. Haynes, Ed. (Springer), pp. 77—105.

T. B. Coplen

2011 Guidelines and recommended terms for expression of stable-isotope-ratio and gas-ratio measurement results. *Rapid Commun. Mass Spectrom.* 25: 2538—2560.

T. C. O'Connell, C. J. Kneale, N. Tasevska, G. G. C. Kuhnle

2012 The diet-body offset in human nitrogen isotopic values: A controlled dietary study. *Am. J. Phys. Anthropol.* 149: 426—434.

T. Larsen, M. Ventura, N. Andersen, D. M. O'Brien, U. Piatkowski, M. D. McCarthy

2013 Tracing carbon sources through aquatic and terrestrial food webs using amino acid stable isotope fingerprinting. *PLOS ONE* 8, e73441.

T. Tsutaya, M. Yoneda

2013 Quantitative reconstruction of weaning ages in archaeological human

populations using bone collagen nitrogen isotope ratios and approximate Bayesian computation. PLOS ONE 8, e72327.

W. J. Pestle, B. E. Crowley, M. T. Weirauch

2014 Quantifying inter-laboratory variability in stable isotope analysis of ancient skeletal remains. PLOS ONE 9, e102844.

Ancient Beringian Paleodiets Revealed through Multiproxy Stable Isotope Analyses

*Carrin M. Halffman Ben A. Potter Holly J. McKinney Takumi Tsutaya
Bruce P. Finney Brian M. Kemp Eric J. Bartelink Matthew J. Wooller
Michael Buckley Casey T. Clark Jessica J. Johnson Brittany L. Bingham
François B. Lanoë Robert A. Sattler Joshua D. Reuther*

Abstract: The earliest Native Americans have often been portrayed as either megafaunal specialists or generalist foragers, but this debate cannot be resolved by studying the faunal records alone. Stable isotope analysis directly reveals the foods consumed by individuals. We present multi-tissue isotope analyses of two Ancient Beringian infants from the Upward Sun River site (USR), Alaska (11,500 years ago). Models of fetal bone turnover combined with seasonally-sensitive taxa show that the carbon and nitrogen isotope composition of USR infant bone collagen reflects maternal diets over the summer. Using comparative faunal isotope data, we demonstrate that although terrestrial sources dominated maternal diets, salmon was also important, supported by carbon isotope analysis of essential amino acids and bone bioapatite. Tooth enamel samples indicate increased salmon use between spring and summer. Our results do not support either strictly megafaunal specialists or generalized foragers but indicate that Ancient Beringian diets were complex and seasonally structured.

Keywords: Ancient native Americans; structure of the diet; multiple stable isotope analysis

图书在版编目(CIP)数据

北冰洋研究. 第六辑/曲枫主编.—上海:上海
三联书店,2023.6

ISBN 978-7-5426-7986-4

I. ①北… II. ①曲… III. ①北冰洋-区域-丛刊
IV. ①D5-55

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2022)第 238843 号

北冰洋研究(第六辑)

主 编 / 曲 枫

责任编辑 / 郑秀艳

装帧设计 / 一本好书

监 制 / 姚 军

责任校对 / 王凌霄

出版发行 / 上海三联书店

(200030)中国上海市漕溪北路 331 号 A 座 6 楼

邮 箱 / sdxsanlian@sina.com

邮购电话 / 021-22895540

印 刷 / 上海惠敦印务科技有限公司

版 次 / 2023 年 6 月第 1 版

印 次 / 2023 年 6 月第 1 次印刷

开 本 / 710mm×1000mm 1/16

字 数 / 320 千字

印 张 / 19.25

书 号 / ISBN 978-7-5426-7986-4/D·562

定 价 / 80.00 元

敬启读者,如发现本书有印装质量问题,请与印刷厂联系 021-63779028

封面封底摄影：曲 枫

Chief Editor

Feng Qu, the Director and Professor of Arctic Studies Center at Liaocheng University. He received his BA in archaeology from Jilin University, MA in archaeology from Leiden University, and PhD in anthropology from University of Alaska Fairbanks. His expertise includes Arctic prehistory and ethnography, Arctic environmental history, and anthropology of religion.

Co-Chief Editor

Michael Knüppel, a current professor in the Arctic Studies Center at Liaocheng University. He obtained a doctoral degree from University of Hamburg and another doctoral degree from George-August University in Göttingen. His expertise covers social anthropology/ethnology, history of sciences with focus on the studies on oriental languages, history of religion and Altaistics.



Journal of Arctic Studies



曲 枫 | 主编

[德] 迈克·克努佩尔 | 副主编

王丽英 | 执行主编

北冰洋研究

第六辑

曲 枫 主编
[德] 迈克·克努佩尔 副主编

北冰洋研究

第六辑

Journal of Arctic Studies



主 编

曲枫，聊城大学北冰洋研究中心主任、教授。分别于吉林大学获历史学学士学位，荷兰莱顿大学获考古学硕士学位，美国阿拉斯加大学获人类学博士学位。研究方向包括北极考古学和民族志学、北极环境史、宗教人类学等。



副主编

[德]迈克·克努佩尔，聊城大学北冰洋研究中心教授，汉堡大学和哥廷根大学博士。研究方向为社会人类学/民族学、东方语言学、宗教史和阿尔泰学等。

上架建议：历史学/民族学

ISBN 978-7-5426-7986-4



9 787542 679864 >

定价：80.00元



上海三联书店

责任编辑：郑秀艳 389615896@qq.com

封面设计：一本好书·汪要军 QQ:604378042

