

第4版

象牙

与象牙替代品鉴定指南



作者:

Barry W. Baker

Rachel L. Jacobs

Mary-Jacque Mann

Edgard O. Espinoza

Giavanna Grein

编辑: Crawford Allan



TRAFFIC
the wildlife trade monitoring network

象牙

与象牙替代品鉴定指南

© 2020 濒危野生动植物种国际贸易公约 (CITES) 秘书处和世界自然基金会 (WWF) 保留所有权利, 本书任何内容未经CITES秘书处和WWF许可, 不得复制。

封面图片

© Martin Harvey-WWF

图片来源: 如未另行说明, 均来自美国鱼类及野生动物管理局

免责声明

本文件中使用的地理名称不代表濒危野生动植物种国际贸易公约 (CITES) 秘书处 (或联合国环境规划署)、世界自然基金会或国际野生生物贸易研究组织对任何国家、领土或地区的法律地位或对其边界或界线划定的任何意见。作者和编辑对本文内容全权负责。

资助方

本出版物 (通过CITES缔约方大会第17次会议决议执行项目) 获得欧盟 (EU) 和世界自然基金会的支持。

关于作者

本指南形态部分作者系美国鱼类及野生动物管理局法医实验室现任和前任法医和野生动物鉴定专家。本鉴定指南早期版本合著者系Mary-Jacque Mann和Edgard O. Espinoza。象牙线上交易部分作者Giavanna Grein系野生动物线上交易专家, 负责国际野生动物贸易研究组织 (TRAFFIC) 和世界自然基金会 (WWF) 打击网络野生动植物非法贸易全球联盟的协调工作。

鸣谢

本指南由Crawford Allan编辑并负责出版监督。线上交易部分由Giavanna Grein编写并开展了额外研究, 同时担任项目经理。形态部分由Barry W. Baker、Rachel L. Jacobs、Mary-Jacque Mann和Edgard O. Espinoza编写。

感谢世界自然基金会 (WWF) 的Abigail Hehmeyer; 国际野生动物贸易研究组织 (TRAFFIC) 的Robin Sawyer、Hallie Sacks和Stephanie Pendry。

感谢濒危野生动植物种国际贸易公约 (CITES) 秘书处Haruko Okusu、Thea Carroll和Sofie Hermann Flensburg等工作人员的支持和投入。

感谢打击野生动植物犯罪国际联盟 (ICWC)、联合国毒品和犯罪问题办公室 (UNODC) 和UNODC的Jorge Rios再版其2014年报告*象牙采样和实验室分析方法和程序准则的实验室分析部分*。

设计: Fuszion。翻译: Etcetera Language Group, Inc., 翻译校对: TRAFFIC中国办公室。

建议引用方法

Baker, B., Jacobs, R., Mann, M., Espinoza, E. 和Grein, G. (2020年)。CITES《象牙与象牙替代品鉴定指南》(第4版, 编辑: Allan, C.), 世界自然基金会, 华盛顿特区。委托方: 瑞士日内瓦CITES秘书处。

象牙

与象牙替代品鉴定指南

作者:

Barry W. Baker

Rachel L. Jacobs

Mary-Jacque Mann

Edgard O. Espinoza

Giavanna Grein

编辑: Crawford Allan

序言作者:

CITES秘书长Ivonne Higuero

第4版



本指南同时提供中文、法语和西班牙语版本，可通过濒危野生动植物种国际贸易公约 (CITES) (www.cites.org) 和世界自然基金会 (www.worldwildlife.org) 网站查阅。

目录

序言	vi
引言	viii
象牙和猛犸牙	12
海象	28
抹香鲸和虎鲸	34
独角鲸	38
河马	42
疣猪	50
天然象牙替代品	56
人造象牙替代品	60
推荐读物	64
象牙鉴定的现代法医学方法	70
线上销售象牙的发现与鉴定	87

我谨代表濒危野生动植物种国际贸易公约（CITES）的183个缔约方及秘书处，欢迎期待已久的《象牙与象牙替代品鉴定指南》第4版出版。

CITES附录涵盖3.6万余种动植物，缔约方应履行与这些物种相关的公约。管理人员、科学家和执法人员必须能够区分众多物种及其制品。确定样本本身是缔约方能够根据公约管理国际贸易所需的首要信息之一。

本鉴定指南的主要范围是鉴定不同类型的象牙以及由仿制或外形类似象牙的材料制成的物品和产品。指南内容符合CITES缔约方大会第十七次会议（约翰内斯堡，2016年）通过的第17.162号决议，缔约方请求秘书处根据现代的鉴定方法，编写一份经修订和更新的《象牙与象牙替代品鉴定指南》。本《指南》第三版于1999年出版，很高兴看到当前版本在科学性和视觉呈现方面均作出重大改进。

感谢欧盟为《指南》的更新慷慨解囊，感谢国际野生生物贸易研究组织、世界自然基金会美国分会和美国鱼类及野生动物管理局法医实验室的同事做出的宝贵贡献。

我们将致力于继续与专家和合作伙伴合作，共同努力支持CITES缔约方，确保保护世界野生动物，实现可持续利用。

Ivonne Higuero

秘书长

濒危野生动植物种国际贸易公约

希望本手册继续为国际野生动物执法机构提供帮助，协助鉴定商业交易中常见的长牙的物种

书中包含的信息最初是为野生动物执法机构制定，目的是执行国际濒危物种贸易的法规和限制。该指南的旧版本已经在全世界以三种语言发行数千份。与旧版本一样，本指南旨在为野生动物执法官员、科学家和管理人员提供一种无损外观的鉴定方法，初步确定可疑象牙的真实性和物种来源，以此为执法依据，包括在入境口岸查没可疑非法材料的“可能的依据”理由。由于整牙很容易辨认，所以本指南主要关注雕刻过的牙。重要的是，与野生动物保护和交易相关的国际法规通常根据物种名称（在某些情况下根据亚种名称）规定保护方式。由于牙来源于多个物种，而这些物种的受保护状态各异，因此物种识别对于CITES的执行工作至关重要。希望这本手册继续发挥对国际野生动物执法机构的作用，帮助他们鉴定商业交易中常见的长牙物种。

关于物种名称和附录的说明：在本文中，我们遵循濒危野生动植物种国际贸易公约（CITES）缔约方的协议，使用动物的学名。例如，CITES目前承认两种现存的大象：非洲象 (*Loxodonta africana*) 和亚洲象 (*Elephas maximus*)。很多科学家认为北非森林象是一个独立的物种 (*Loxodonta cyclotis*)，但出于执法目的，我们在本文中遵循CITES的命名法。同样，虽然近期的分类学参考文献都承认倭河马的科学名是 *Choeropsis liberiensis*，但我们使用CITES认可的 *Hexaprotodon liberiensis*。重要的是，随着时间的推移，CITES可能采用的分类学和命名方面会发生变化。读者可以通过CITES网站 (www.cites.org和www.speciesplus.net) 了解最新变化。在每个鉴定章节的开头部分，注明截至2020年5月所引用的物种是否在CITES附录一、二、三中列出。CITES所列物种最新状态可通过CITES物种目录 (<http://checklist.cites.org>) 查询。



术语

酪蛋白：一种在哺乳动物乳汁中发现的蛋白质

牙骨质：包绕在牙根表面的一薄层骨样组织

牙本质：构成牙齿的主体的硬组织

傅里叶转换红外光谱 (FT-IR)：一种基于物质与红外辐射相互作用的无损材料化学分析技术。这种技术的分析产物以干涉图表示

哈弗氏系统/管：密质骨内一系列有液体流动的管道

舌面：舌头的上表面

根付：一种小型雕刻饰品，尤指以象牙或木头制成的饰品，是日本传统服装的一部分，用作和服腰带上的栓扣

牙髓腔：牙齿最里面的部分，内含名为牙髓的有机软组织

长鼻目：生物学家和古生物学家将大象及其已灭绝近亲（如猛犸象和乳齿象）归为同一目。该目下的动物称为长鼻目动物。

史垂格线：大象和猛犸象象牙横截面上供辨识的外形特征

浮雕：经过雕刻或浅刻的骨头或象牙，一般刻在鲸鱼牙上

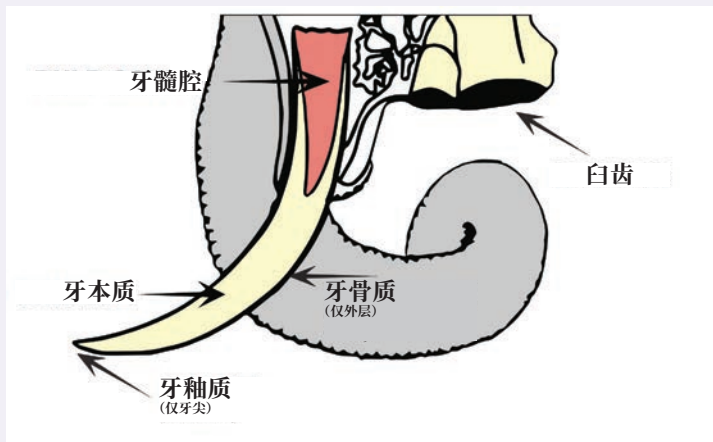
埋藏状态：腐烂和石化的状态

牙间质区 (TIZ)：发育中的牙本质在牙齿/长牙中心的生长汇合区

长牙神经：纵向穿过长牙中心的神经和相关微管

什么是象牙?

图1.1



↑ 图 1.1 象牙形貌图。

传统意义上的“象牙”专指大象的獠牙。但是，不同物种哺乳动物的牙齿和獠牙化学结构相同，除大象之外，其他动物的牙齿和獠牙交易也由来已久、广受关注。因此，“象牙”可适用于泛指任何哺乳类在体积上足以用来雕刻且具有商业价值的牙齿或獠牙。

牙齿和獠牙（一种特定类型的牙齿）具有相同的起源。牙齿是主要用于处理食物的特殊结构。獠牙是一种非常大的牙齿，突出唇

外，进化后具有各种特定功能。大多数哺乳动物的牙齿由牙根、牙颈和牙冠组成。獠牙包括牙根和獠牙本体。牙齿和獠牙有相同的物理结构，包括：牙髓腔、牙本质、牙骨质和牙釉质（图1.1）。最内部的区域是牙髓腔。牙髓腔是牙齿内部的空间，其中含有名为牙髓的有机软组织。

成牙本质细胞排列在牙髓腔内，负责生成牙本质。牙本质是牙雕的主要材料，它在牙髓腔周围形成厚厚的一层，是构成大多数牙齿和獠牙的主体。牙本质是一种矿化结缔组织，含有胶原蛋白的有机基质。牙本质的无机成分由羟基磷灰石组成，其化学通式为 $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{CO}_3)\text{H}_2\text{O}$ 。牙本质内有排列规则的细管，称为牙本质小管，贯通整个牙本质，自牙髓表面向牙骨质边界呈放射状排列。牙本质小管在不同牙齿和獠牙中的结构不同，可提供分类学依据。

牙本质外部是牙骨质层。牙骨质形成一层包围牙齿和獠牙根部的牙本质。其主要功能是将牙齿和獠牙根部附着于下颌骨和上颌骨。生长线在牙骨质中很常见。

牙釉质是最坚硬的动物组织，覆盖于磨损最严重的牙齿或獠牙表面，如牙尖或牙冠。成釉质细胞可形成牙釉质，会在完成牙釉

质形成过程后消失。牙釉质呈釉柱状结构，釉柱垂直于牙冠或牙尖。釉质柱图案具有分类学和功能意义。

牙齿和獠牙可以雕刻成各种各样的形状和物件。我们看到的象牙雕刻有根付、佛像、雕像、工艺品、首饰、餐具把手、家具镶嵌物和钢琴键。此外，獠牙和牙齿（例如疣猪和抹香鲸）可以做成浮雕或在表面进行浅雕或进行表面雕刻，保持原始形态的外观可识别的物体。

象牙和象牙替代品的鉴定可以通过物理、化学或基因技术实现。自本指南首次出版以来，法医遗传学方法的进步彻底改进了科学家在执法环境下进行象牙鉴定的可用工具。但是，此类技术通常需要昂贵的仪器以及遗传学和生物化学方面的广泛培训。本文所采取的方法重点利用肉眼可见的象牙宏观和微观物理特征，结合简单紫外线化学测试进行象牙鉴定。经过一些基本训练，就可以简单地根据肉眼可见的明显外貌特征对多种象牙产品进行物种鉴定。针对缺乏物种判断形态学特征的象牙产品，遗传分析可作为一种有力的鉴定工具。

象牙和象牙替代品鉴定流程

从形态上鉴定象牙和象牙替代品的基本流程如下。步骤简单易懂，形态特征的描述和说明也易于掌握。但是，牙齿作为生物结构具有多样性。象牙鉴定过程中需要重点考虑培训、经验以及对各种原牙和雕刻的象牙标本的对比研究资料的获取情况。随着科技水平不断进步，我们也必须在象牙替代品新工艺和新材料方面保持领先。在很多情况下，鉴定流程的前几个步骤就可以排除这些仿冒材料：

1. 使用长波紫外线检查物体（我们使用365 nm）。象牙、其他牙齿和骨骼的化学成分（羟基磷灰石）在长波紫外线下呈现出明亮的荧光。相反，大多数塑料和树脂在长波紫外线下检查时呈现深色、暗紫色或深蓝色（图1.2A和1.2B）。将此简单步骤与已知象牙/骨头和已知塑料/树脂材料的参考文献进行对比。可用于快速筛查潜在的生物来源物体（在本文中指象牙/牙齿/骨头）。注意：长波紫外线辐射对眼睛有害。请勿直视紫外线。
2. 检查物体是否存在重要的诊断形态特征（见流程图第10-11页）。

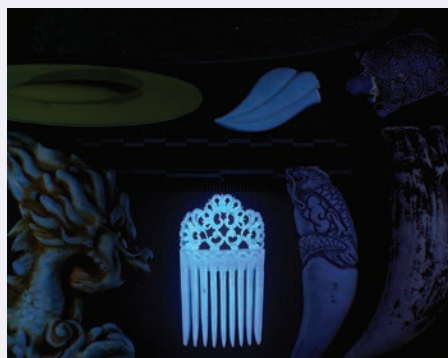
3. 如果出现史垂格角（详细描述和说明见下文），请查看本指南中关于大象和猛犸象象牙部分（第12-27页）。

4. 如果步骤1-3中未明确鉴定方法，请考虑将样本送往实验室进行仪器分析。

图 1.2A



图 1.2B



↑ 疑似以象牙制成的所有物品。图1.2B显示了物体对长波紫外线（365 nm）的反应。只有梳子具有羟基磷灰石的紫外荧光特性。顶部——塑料开信刀。从左上方顺时针依次为——酪蛋白指甲锉盒；酪蛋白纽扣；树脂龟雕；树脂鲸牙；树脂狮牙；象牙梳；树脂龙。

注意：长波紫外线辐射对眼睛有害。请勿直视紫外线。

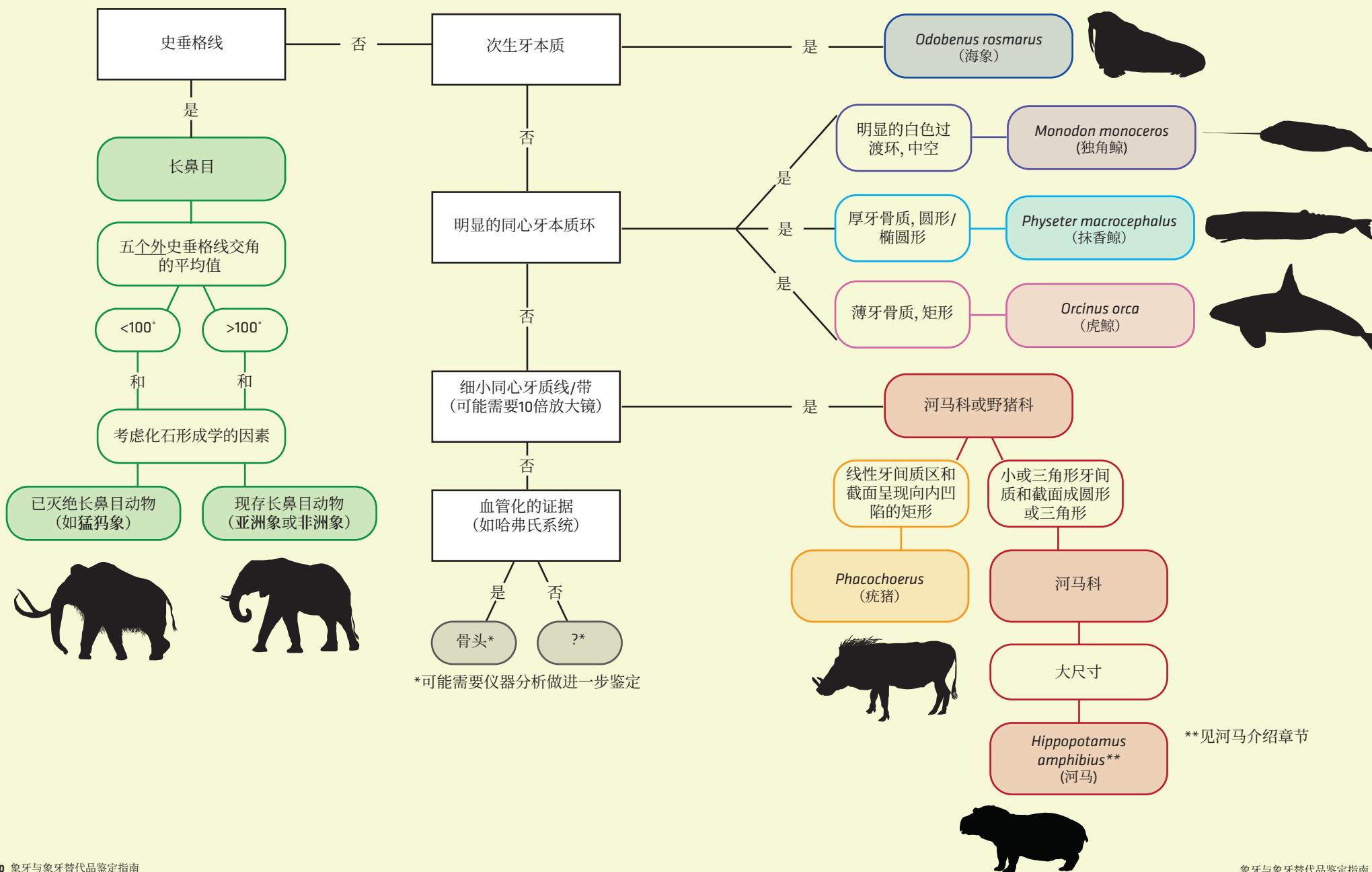
特化齿的类别特征

表1

来源	特化齿	宏观特征	微观特征（10倍）	牙釉质
大象 (亚洲象和非洲象)	上门齿	横截面平均史垂格线夹角 $> 100^\circ$		牙尖, 磨损
猛犸象	上门齿	横截面史垂格线夹角平均 $< 100^\circ$		
海象獠牙	上犬齿	横截面继发性牙本质		牙尖, 磨损
海象牙齿	所有牙齿	横截面上的牙骨质环; 牙骨质增生		牙尖, 可能磨损
虎鲸/抹香鲸	所有牙齿	横截面上的牙本质环		牙尖
独角鲸	上犬齿	螺旋; 横截面空心		牙尖, 磨损
河马	上犬齿	椭圆形横截面; 角形牙间质区	横截面上的细小同心线	纵束
河马	下犬齿	三角形横截面; 角形牙间质区	横截面上的细小同心线	纵束
河马	下切齿	钉形; 牙间质区小呈一点状	横截面上的细小同心线	无
疣猪	上犬齿	正方形横截面; 线形牙间质区	横截面上的细小同心线	纵束

基于横截面形态的常见流通象牙鉴定流程

下图假设受检物品在紫外光下产生与羟基磷灰石一致的荧光。如果该项目没有发出与羟基磷灰石一致的荧光，则可能表示是一种象牙替代品，建议进行仪器分析。

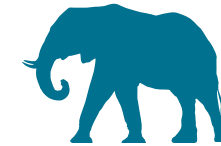


象牙和猛犸牙

CITES附录 (截至2020年)

非洲象	附录一, 除博茨瓦纳、纳米比亚、南非和津巴布韦之外的种群为附录二注释2中
亚洲象	附录一
猛犸象属	已灭绝, 未列入CITES

大象和猛犸象的獠牙



生物学家和古生物学家将**现代 (现存) 大象及其已灭绝的近亲** (如猛犸象和乳齿象等) 归为长鼻目。在野生动物交易中, 最常见的长鼻目动物象牙来自现存大象的两颗上门齿。国内外非洲象和亚洲象 (学名分别为*Loxodonta africana*和*Elephas maximus*) 的象牙商业贸易受到高度管制, 根据国内法规或CITES附录状态, 在很多情况下属于非法交易。

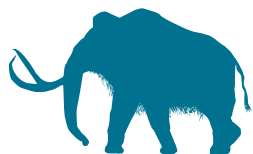
已灭绝物种真猛犸象 (*Mammuthus primigenius*, 猛犸象的诸多种类之一) 的象牙交易也很常见。Bruemmer (1989年) 估计, 在过去350年里, 超过7000吨的猛犸象象牙被挖掘出并流入市场交易, 而Vereshchagin (1974年) 估计, 西伯利亚仍然埋有超过55万吨猛犸象象牙。猛犸象的史前活动范围包括阿拉斯加和西伯利亚, 所



以在永久冻土中发现的猛犸象牙得以很好的保存，其颜色和状况可能与现代大象的象牙类似。另一方面，根据埋藏条件的不同，沉积在土壤中的猛犸象牙通常呈现出蓝色到棕色，这一点有助于和现存大象区分。

在古生物学环境中还发现了乳齿象象牙，但在北美发现的数千颗乳齿象象牙中，只有两根较为完整且具有现代象牙的外观（未正式发表，D. Fisher, 2018年7月9日）。因此，在鉴定野生动物贸易中长鼻目动物象牙的过程中，通常可以将乳齿象象牙排除在考虑范围之外。

在长鼻目动物长牙中，牙釉质只存在于幼小动物的长牙尖上，且很快就会磨损。长鼻目动物长牙的完整横截面呈圆形或椭圆形（图2.1）。牙本质占长牙的95%，有时显示出宽阔的同心带，称为欧文氏线。牙骨质覆盖了长牙外部，呈现出分层结构外观。



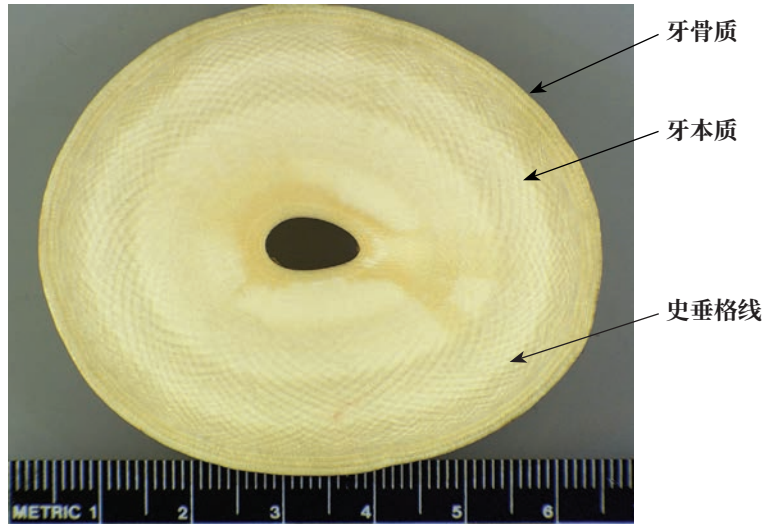
大象和猛犸象象牙的鉴定

完整无缺的大象象牙可通过形状和大小区分。从历史上看，大象象牙非常大。但是，由于持续非法获取象牙，非洲象象牙的平均大小正在迅速减少（Chiyo等人，2015年）。完整的猛犸象牙很大，具有不对称的弯曲。这些比较稀有的完整长牙一般还会呈现出化石状态，所以通常不会与现代大象象牙相混淆。河马牙齿、疣猪獠牙、骨头、树脂和塑料等其他材料常用于制作大象象牙的仿制品。正如本指南中所述，经过仔细检查和分析，可以很容易地区分这些仿制品。

象牙雕刻制品的鉴定

确定象牙雕刻制品（图2.2）是否确实来自长鼻目动物，依据是大象和猛犸象象牙横截面上具有判断形态特征特征“史垂格线”。1845年，Richard Owen（Owen, 1845年）首次将此类线条描述为“曲线”、“交叉”和“菱形”，但Espinoza和Mann（1993年）首次使用术语“史垂格图案”描述此类形态特征，作为区分现存大象象牙和猛犸象象牙的工具。史垂格图案的组织形成和发展是由Virag（2012年）和Alberic（2017年）等人提出的，由牙本质窦状小管构成。

大象和猛犸象的獠牙



↑ 图2.1 象牙横截面典型图像。外部由牙骨质层组成，包围在象牙外部。最主要的成分是牙本质，即图中显示有史垂格线夹角的部份。夹角的顶点指向牙骨质层。牙髓位于椭圆形空洞，因此可以称为牙髓腔。



↑ 图2.2 显示微型牙雕细节的三个典型象牙根付示例。

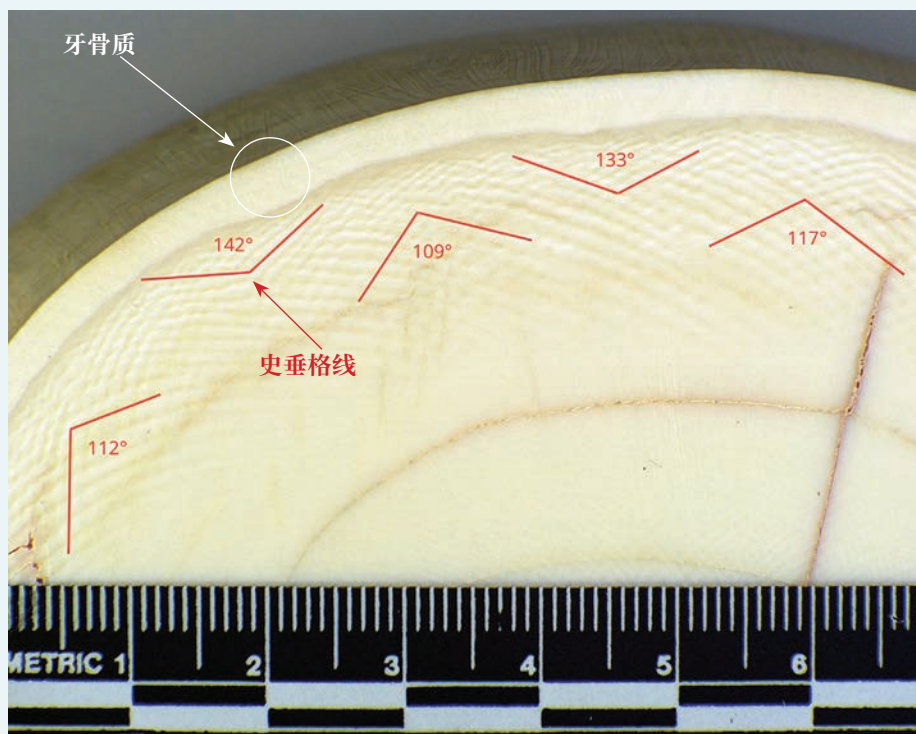
大象和猛犸象的獠牙

雕刻象牙属于三维制品，仔细检查后，通常会发现雕刻部位会显露出横截面的位置。在大象牙本质中，史垂格线称为交叉线、发动机拐弯或堆叠的V形线。史垂格线可分为两组：1) 邻近牙骨质的明显线条（“外史垂格线”），以及 2) 在象牙神经周围发现的隐约可辨的史垂格线 (图2.1)。外史垂格线相交形成的角度可用于区分已灭绝和现存长鼻目动物，而“内史垂格线”无法帮助确定象牙的分类来源 (图2.1)。

史垂格线夹角的方向在象牙种类鉴定上有至关重要的意义。在检查长鼻目动物象牙的横截面时，其四周被牙骨质层包围。史垂格线在牙骨质附近相交形成1)凹角（类似于哥特式拱门的形状），其顶点（角的点）指向牙骨质，或者 2)由外史垂格线形成的凸角，其顶点（角的点）指向象牙截面中心。Espinoza等人（1990年）以及Espinoza和Mann（1993年）创建的数据库测量了牙骨质可见史垂格线凹角和凸角。他们以27根大象和27根猛犸象的象牙为参考样本，在每个样本测量五个史垂格凹角和五个史垂格凸角；计算出平均值 (图2.3和2.4)。每组各测得270组角度数据。

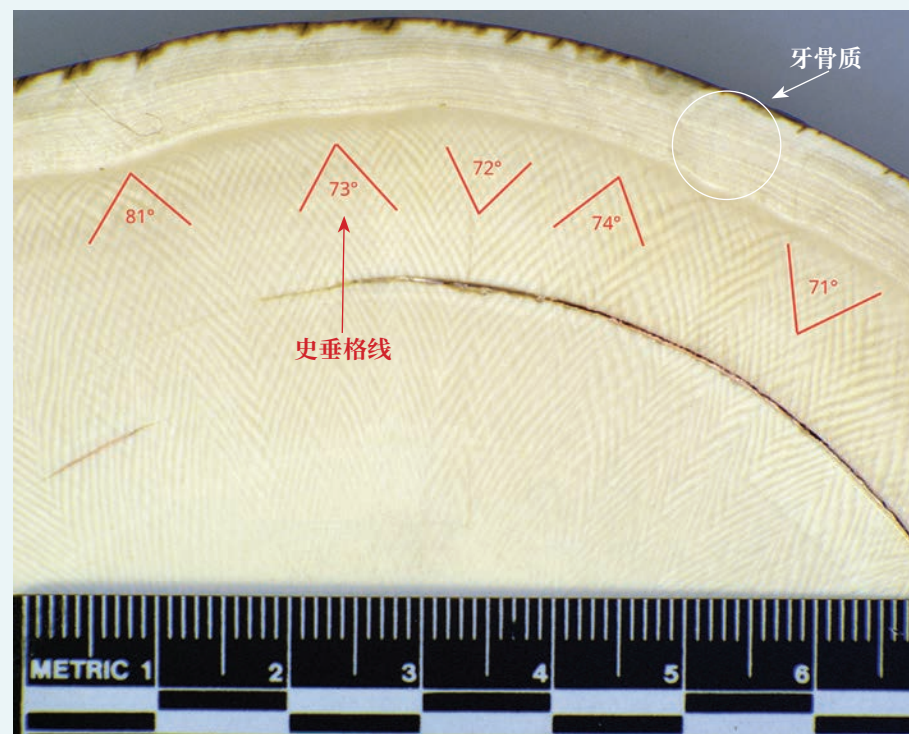
大象和猛犸象的獠牙

现代大象的史垂格线夹角平均大于 100° (图2.3), 而猛犸象的平均值小于 100° (图2.4和2.5)。27根大象象牙的凹角和凸角平均值均 $>100^\circ$, 27根猛犸象牙的凹角和凸角平均值均小于 100° 。因此, 凹角或凸角的平均测量值 ($n \geq 5$) 有助于区分现存大象象牙和猛犸象牙。



↑ 图2.3 现存象牙横截面特写 (显示了史垂格线夹角的测量结果)。测量范围为 109° 至 142° 。史垂格线夹角的平均测量值为 122.6° 。请注意, 测得的角度顶点面向牙骨质或牙髓腔。

大象和猛犸象的獠牙



↑ 图2.4 已灭绝猛犸象獠牙横截面特写 (显示了史垂格线夹角的测量结果)。测量范围为 71° 至 81° 。史垂格线夹角的平均测量值为 74.2° 。请注意, 测得的角度顶点面向牙骨质或牙髓腔。

Fisher等人(1998年)、Palombo和Villa(2001年)以及Ábelová(2008年)证实了基于史垂格线夹角测量值的长鼻目动物分类方法。

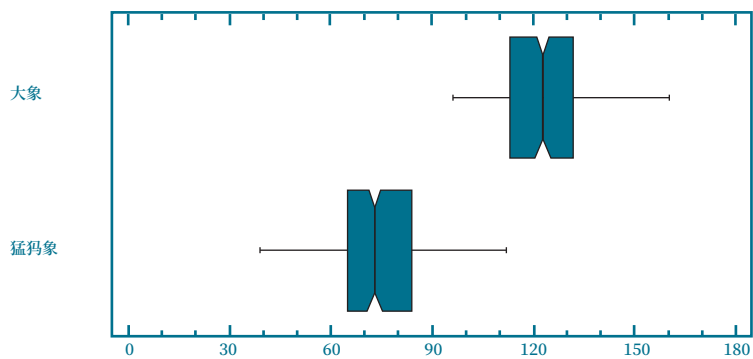
下表2.1显示,史垂格线夹角的方向不影响结论。检查象牙制品(尤其是当制品尺寸很小时)的合理策略是结合凹角和凸角角度测量。

表2.1

	凹角 (顶点朝向 牙骨质)	凸角 (顶点朝向 象牙中心)	所有角度综合 (n=540)
大象:			
平均值:	131.0°	117.3°	124.2°
范围	105.0 - 162.0°	96.0 - 149.0°	96.0 - 162.0°
猛犸象:			
平均值:	74.8°	72.7°	73.7°
范围	39.0 - 115.0° ¹	42.0 - 115.0°	39.0 - 115.0°

¹Ábelová (2008年) 记录,猛犸象个体史垂格线夹角测量值 $\geq 120^\circ$ 。

图2.5



↑ 图2.5 从大象和猛犸象象牙上测量的史垂格角箱型图。

如何测量史垂格线夹角度

- 1) 史垂格线夹角可以用数码摄影或用复印机捕捉图像进行测量。
- 2) 调整图像方位,记录牙骨质位置(见图2.6A、2.6B和2.7)。
- 3) 对凹角或凸角进行至少五次角度测量,计算平均值。如果是数字图像,很多成像工具都有内置角度计算器。如果用复印机捕捉图像,则需要量角器计算角度。
- 4) 如果平均角度测量值大于 100° ,且牙本质未出现因埋藏造成的化石状态(见下文注释),则可以合理推断出该制品来自大象。相反,如果平均角度测量值小于 100° ,则可以合理推断出该制品来自猛犸象。

图2.6A



← 图2.6A 展示象牙雕刻制品不同表面上的史垂格线。这些线证实该制品源自长鼻目动物。

← 图2.6B与图2.6A 相同的象牙雕刻制品，但本图中显示出底座。仔细查看发现牙骨质层, 与之相邻的史垂格角是可以测量的。分析表明该制品为现存象牙。

图2.6B



图2.7



↑ 图2.7 展示外部牙骨质层以及钝角史垂格线夹角的小型象牙雕 (表明其属于现存象牙)。

注意事项

- 1) 如果象牙制品无法定位确定牙骨质的位置，则很有可能得出错误结论。原因是：
 - a. 该制品可能从象牙牙芯部位雕刻而成；在这种情况下，观察到的夹角属于内史垂格角，多呈锐角，导致误判。
 - b. 角度平行于牙骨质，将产生错误的结论。正确的测量是垂直于牙骨质的角度。

- 2) Fisher等人 (1998年) 报道，已灭绝的乳齿象象牙具有 $>100^\circ$ (平均 $\sim 125^\circ$) 的钝角。因此，如果仅仅以角度测量为依据，则乳齿象象牙可能会与现代象牙混淆。但是，在北美和欧洲发现的数千颗乳齿象象牙中，只有两根完好无损，具有现代象牙的外观 (未正式发表，D. Fisher, 2018年7月9日)。因此，在推断现存长鼻目象牙的类型之前，必须考虑象牙的埋藏状态。

美国乳齿象
(*Mammut americanum*)



非洲象
(*Loxodonta africana*)



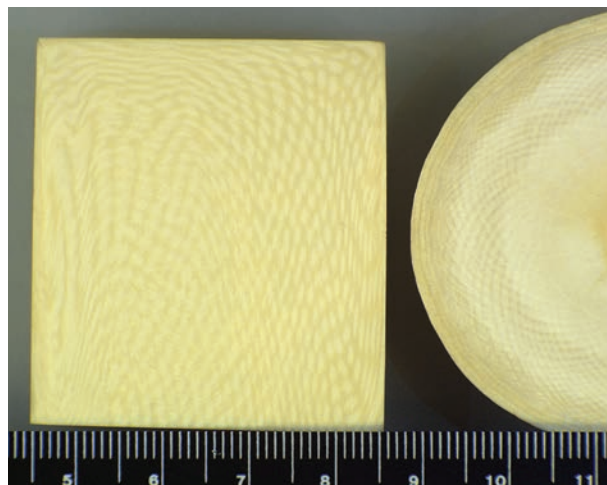
猛犸象

(*Mammuthus primigenius*)

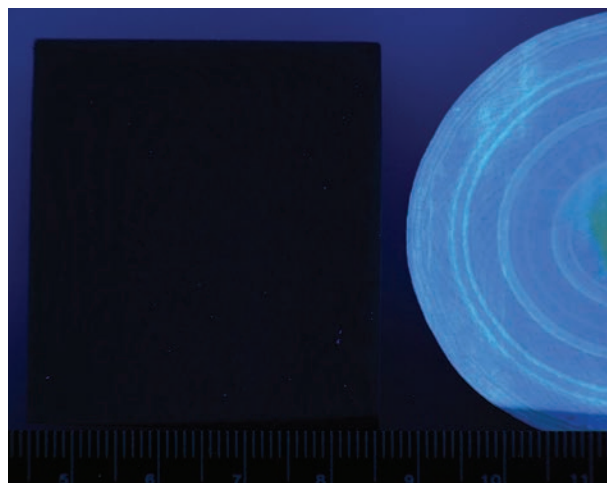


- 3) 如果无法正确定位牙骨质的位置或观察到模棱两可的特征，应通过遗传分析进行物种鉴定。

- 4) 酪蛋白和其他聚合物通过连续沉积层制成的仿制品会有类似史垂格线和夹角 (图2.8A和2.8B)。通过目视检查材料的紫外荧光特性，和/或使用傅里叶变换红外光谱



← 图2.8A 一种制作类似于大象象牙横截面旁边史垂格线夹角 (左) 的醇酸树脂，可显示出牙骨质旁边的史垂格线夹角 (右)。



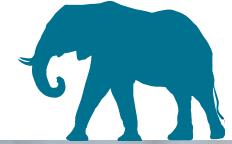
← 图2.8B 紫外线下 (312 nm) 象牙横截面旁边的醇酸树脂 (左)。树脂会吸收紫外线，而象牙会反射紫外线。

大象和猛犸象的象牙

(FT-IR) 等分析化学仪器，可以区分此类制品和长鼻目象牙真品。

最后，史垂格线夹角分析只能用来区分制品是来自大象还是猛犸象。这种分析无法区分出非洲象和亚洲象。此类问题需要进行DNA分析。联合国毒品和犯罪问题办公室 (UNODC) 发布的

Guidelines on Methods and Procedures for Ivory Sampling and Laboratory Analysis 《象牙采样和实验室分析方法流程指南》(2014年) 以及CITES野生动物法医专用网页 (cites.org/eng/prog/imp/Wildlife_forensics) 给出了关于进一步测试的全面建议。



了解其他象牙
鉴定方法，请
参考第70页

海象

(*ODOBENUS ROSMARUS*)

CITES附录 (截至2020年)

Odobenus rosmarus | 附录III (加拿大)



© WILD WONDERS OF EUROPE / OLE JOERGEN LIODDEN / WWF

海象

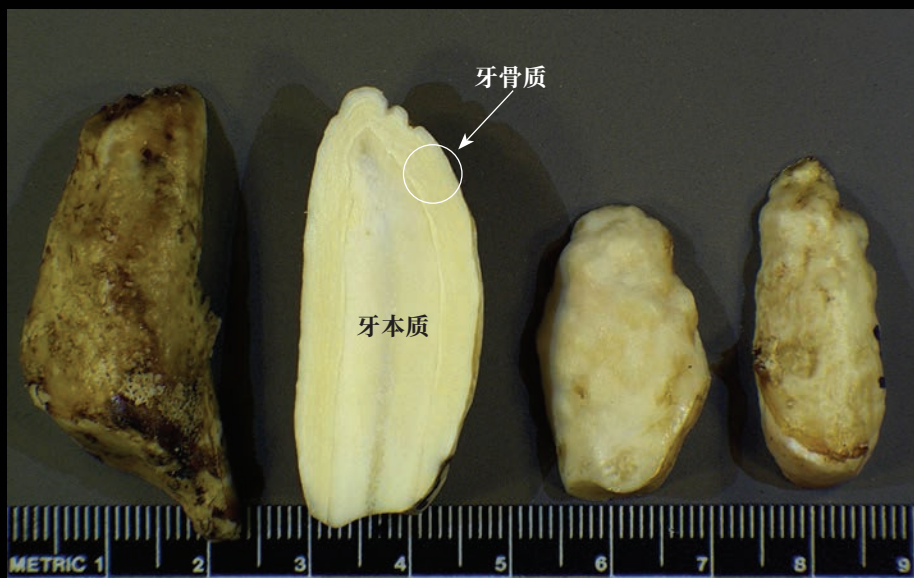


獠牙

海象獠牙是两根特化的上犬齿。太平洋海象的牙可能会达到一米长 (图3.1)。海象的白齿也可以雕刻并进行商业贸易 (图3.2)。海象的白齿一般呈圆形，形状不规则，长约5厘米。幼年海象的象牙尖部含有牙釉质，但随着海象的成熟，牙釉质会逐渐消失。海象獠牙通常有贯穿上下的纵向裂纹，裂纹起源于牙骨质 (外层) 并穿透牙本质。



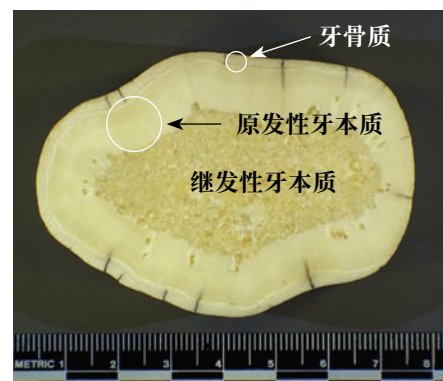
图3.1 一对典型的海象獠牙，注意獠牙中重复出现的纵向裂纹。



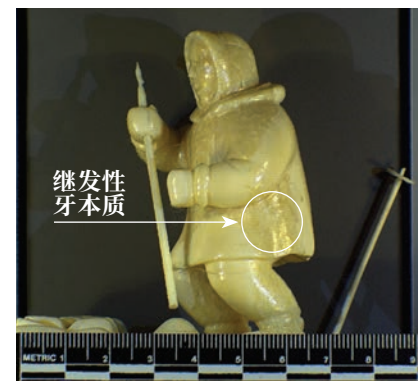
↑ 图3.2 海象牙齿示例。这些牙齿呈球状是由于牙骨质过度生长形成，称为牙骨质增生。为显示包围在原发性牙本质周围的厚牙骨质层，左边第二颗牙已被纵向切成两半。在这种情况下，牙骨质质量几乎等于牙本质质量。

海象牙雕刻制品

交易中常见的海象獠牙横截面呈椭圆形，外部有一层宽波纹状的牙骨质。牙雕和/或横截面具有独特的形态特征——位于横截面核心(中心)的继发性牙本质，具有大理石外观(图3.3)。牙骨质内部是一层很宽的牙本质，形态特征不明显。可以看到径向裂纹通过牙骨质穿过牙本质，有时可到达内部继发性牙本质(图3.1和3.3)。存在继发性牙本质，表明制品来自海象的牙齿(图3.1和3.4)。



↑ 图3.3 海象牙横截面典型示例。外部由牙骨质层组成，围绕着牙本质。牙骨质内部有两种牙本质。像大理石的组织称为继发性牙本质，位于獠牙的中心或核心。光滑的组织是传统的原发性牙本质。请注意，牙骨质上的裂纹，有时会延伸到原发性牙本质；引发裂纹的原因是图3.1所示的纵向裂纹。



↑ 图3.4 海象牙制成的牙雕。该牙雕显示出继发性牙本质(即大理石状组织)和原发性牙本质。仔细查看图的左侧，同样显示出牙骨质的痕迹。

海象白齿

海象上颌骨和下颌骨中的白齿外观异常，这是由于覆盖在外部的牙骨质过量，这种现象被称为牙骨质增生(图3.2)。在横截面和牙雕中，海象的白齿表现出非常厚的牙骨质和突出的牙骨质环(图3.5)。牙骨质内部是一层牙本质，和牙骨质之间由一个清晰的狭窄过渡环分开。根据牙齿的大小，牙齿中心可能含有少量的继发性牙本质。



↑ 图3.5 三个海象獠牙微牙雕。中间的小牙雕显示出一层厚厚的牙骨质层，包围在原发性牙本质周围。



抹香鲸 和虎鲸

(*PHYSETER MACROCEPHALUS*和
ORCINUS ORCA)

CITES附录 (截至2020年)

<i>Physeter macrocephalus</i>	附录一
<i>Orcinus orca</i>	附录二

© BRIAN J. SKERRY / NATIONAL GEOGRAPHIC STOCK / WWF

抹香鲸和虎鲸



抹香鲸的牙齿可能非常大 (图4.1), 在传统鲸牙雕中通常以航海主题雕刻 (Dyer, 2018)。鲸牙雕通常包括浅浮雕整颗牙齿的外部 (图4.2)。抹香鲸整颗牙齿的平均高度约为二十厘米。虎鲸的牙齿则小得多, 一颗小号抹香鲸的牙齿可能和一颗大号虎鲸的牙齿大小相仿。这两种动物的牙齿均呈锥形, 牙尖处有少量牙釉质。牙齿的其余部分被牙骨质覆盖。抹香鲸牙齿的整个横截面呈圆形或椭圆形, 而虎鲸牙齿的横截面呈矩形 (图4.3和4.4)。牙本质为渐进式层状沉积。由于这种层状沉积, 虎鲸和抹香鲸的牙齿会在横截面上显示突出的同心牙本质环。我们观察到一个虎鲸牙齿样本显示出微弱的牙本质线, 不要和史垂格线相混淆 (图4.4)。在美国鱼类及野生动物管理局法医实验室累积50余年的象牙鉴定中, 仅在另一个非长鼻目象牙标本中观察到类似的结构特征 (Sims, 2010年)。

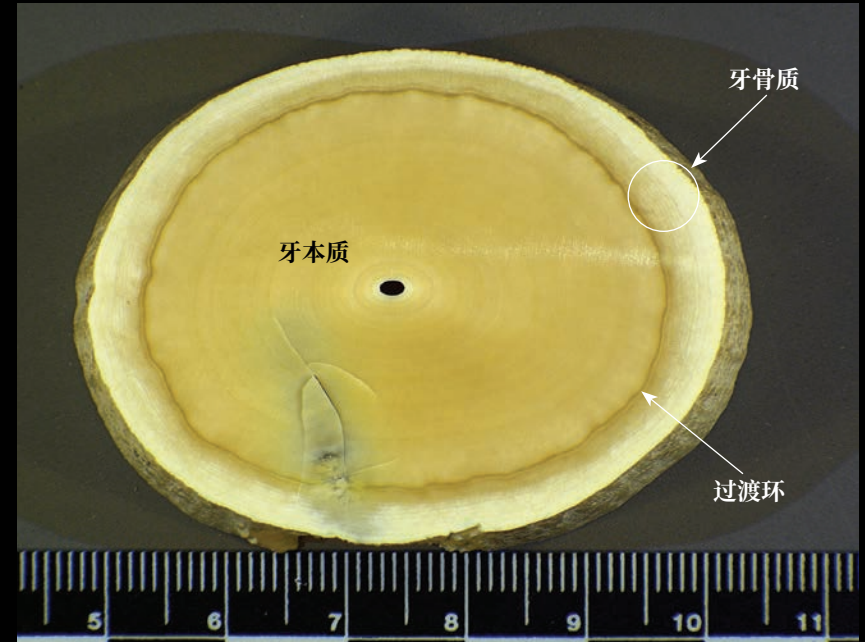
虎鲸和抹香鲸牙齿的牙本质和牙骨质之间有一个清晰的过渡环。根据牙骨质的厚度, 通常很容易区分抹香鲸牙雕与虎鲸牙雕。抹香鲸牙齿有非常厚的牙骨质, 虎鲸则相对较薄 (图4.4) (Yates和Sims, 2010)。

抹香鲸和虎鲸



↑ 图4.1 未雕刻的抹香鲸牙齿。

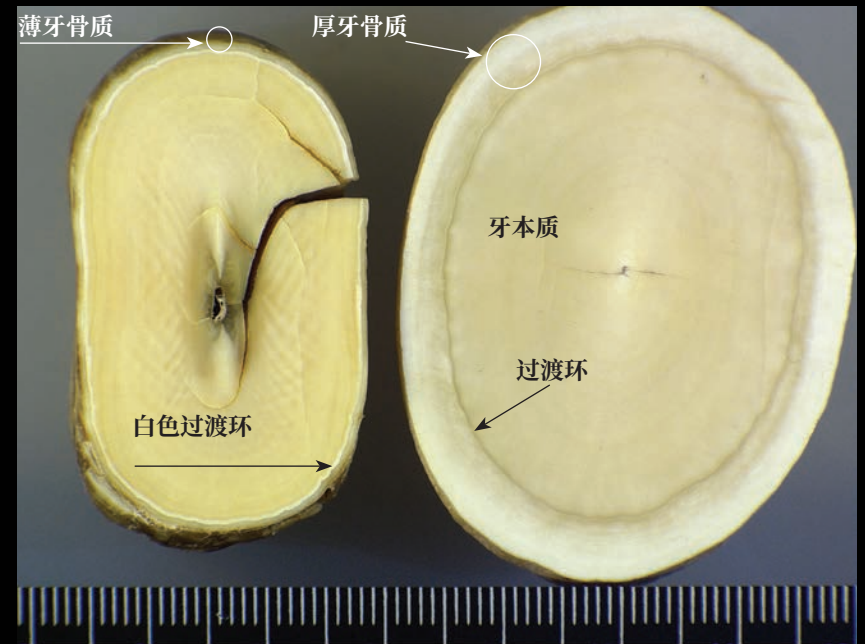
抹香鲸和虎鲸



↑ 图4.3 抹香鲸牙齿的横截面。请注意外层厚牙骨质、将牙骨质与牙本质分开的暗过渡环以及由细圆环组成的牙本质。



↑ 图4.2 经雕刻和处理的抹香鲸牙齿。



↑ 图4.4 虎鲸牙齿(左)和抹香鲸牙齿(右)的横截面。请注意矩形虎鲸牙齿及其特有的薄牙骨质。

独角鲸

(*MONODON MONOCEROS*)

CITES附录 (截至2020年)

Monodon monoceros | 附录二



© PAUL NICKLEN / NATIONAL GEOGRAPHIC CREATIVE / WWF-CANADA

独角鲸

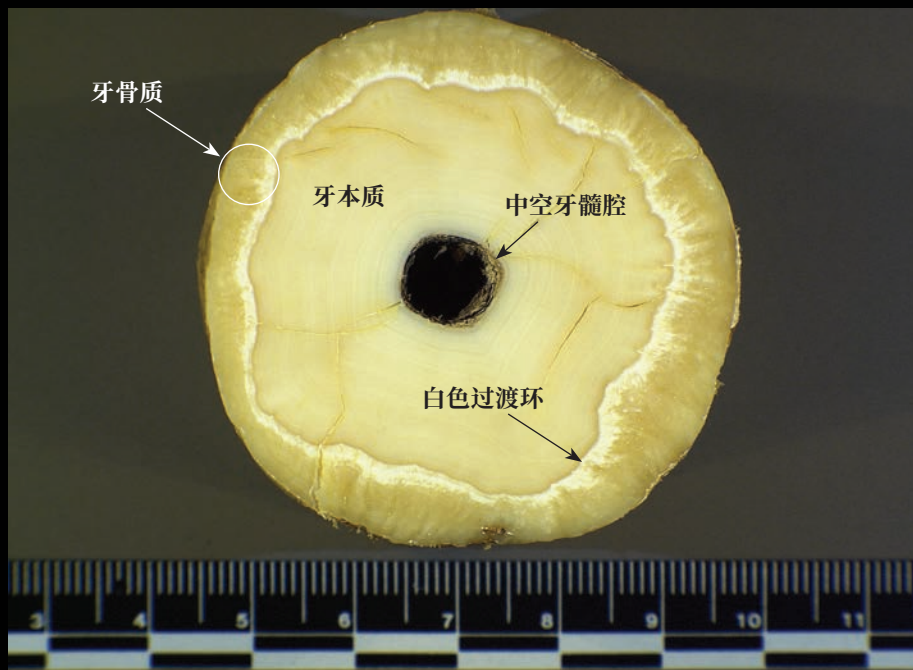


独角鲸是一种罕见的北极鲸。该物种的雄性只有一根由犬齿特化而来的獠牙。獠牙呈螺旋状扭转，通常为逆时针方向 (图5.1)。在成年独角鲸标本中，獠牙的长度可达2到7米。牙尖可能有牙釉质。牙骨质经常沿螺旋形凹陷区域显示出纵向裂纹。因此，独角鲸的獠牙横截面呈圆形，周边有凹痕。独角鲸獠牙上的牙骨质和牙本质之间由一个清晰的白色过渡环分开。尽管独角鲸的牙本质形状不规则，但像虎鲸和抹香鲸一样，牙本质可能会显示突出的同心环。独角鲸獠牙的牙髓腔贯穿其大部分长度，横截面内部中空 (图5.1和5.2)。

独角鲸



↑ 图5.1 独角鲸獠牙剖面图，显示出螺旋结构和中空牙髓腔。右边獠牙的牙髓腔已堵住。



↑ 图5.2 独角鲸獠牙的横截面。请特别注意不规则形状的白色过渡环和中空牙髓腔。



在成年独角鲸标本中，
獠牙的长度可达2到7米。

© NATUREPL.COM/ BRYAN AND CHERRY ALEXANDER/ WWF

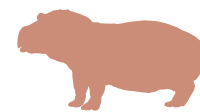
河马

CITES附录 (截至2020年)

Hippopotamidae 附录二



河马



河马的犬齿和门齿是牙类贸易中常见的种类。现存的河马有两种：普通河马 (*Hippopotamus amphibius*) 和倭河马 (*Hexaprotodon liberiensis*)。两种河马分类群有明显的大小差异。在全球种群数量上也有所不同，后者相对较少，分布范围更为有限 (Wilson and Mittermeier, 2011)。鉴于普通河马 (*H. amphibius*) 牙齿尺寸较大，种群数量较多，该河马牙在交易中更为常见。倭河马牙 (*Hex. liberiensis*) 在交易中比较稀少。以下特征基于对普通河马 (*H. Amphibius*) 牙齿/獠牙的观察，虽然倭河马 (*Hex. liberiensis*) 数据较少缺乏对比，但至少仍有一部分特征可以在倭河马牙中观察到。因此，虽然还不清楚是否所有特征均适用于这一亲缘关系 (即河马科)，但建议谨慎排除倭河马 (*Hex. Liberiensis*)，特别是在尺寸不确定的情况下 (例如小型牙雕制品)。

原生牙齿/獠牙

由于河马的门齿和犬齿体积相对较大，在野生动物交易中发现的河马牙制品大多是原生或雕刻的门齿和犬齿，可以根据不同形状进行区分 (图6.1)。

上犬齿

上门齿

由于尺寸相对较大，野生动物贸易中观察到的大多数河马牙制品为原生或雕刻门齿或犬齿

下犬齿

下门齿

图 6.1 普通河马 (*Hippopotamus amphibius*) 的门齿和犬齿。

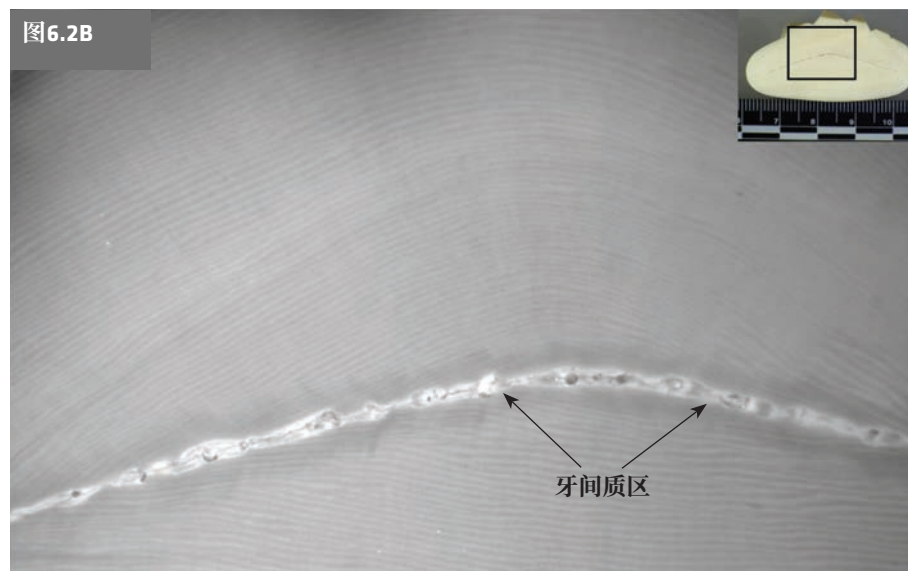
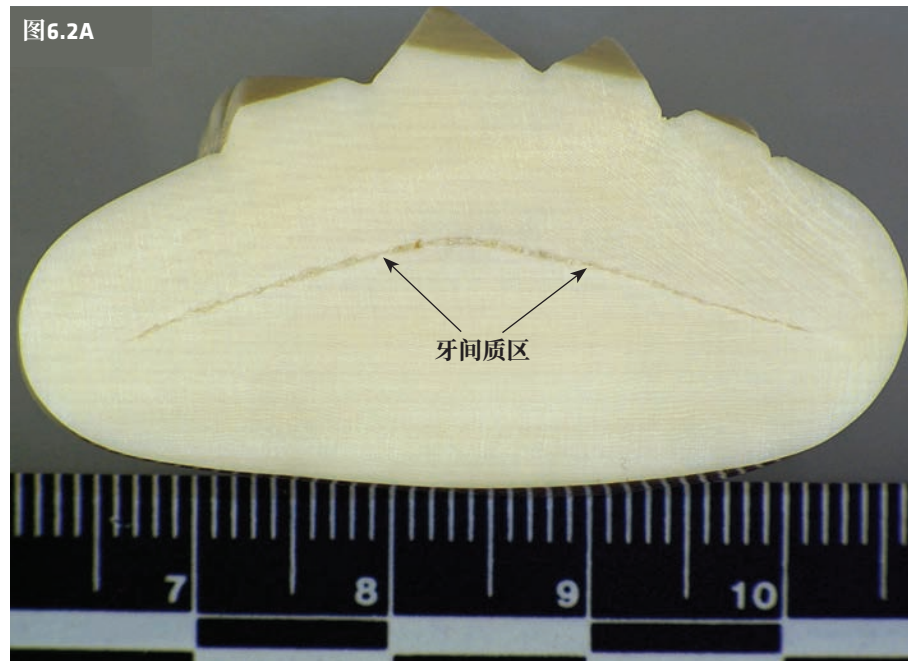


门齿: 河马的下门齿通常呈笔直的钉状。上门齿相仿, 但也可能出现轻微的弯曲 (图6.1)。门齿表面可能有也可能没有牙釉质。普通河马 (*H. amphibius*) 的下门齿缺乏牙釉质, 但有一层外牙骨质层; 其他门齿可能在缺乏牙釉质的表面或牙骨质上有纵向牙釉质带 (Locke, 2013年)。

犬齿: 河马有一组弯曲的上下犬齿, 体积比门齿大。与上犬齿相比, 下犬齿通常更大, 弯曲度更大, 接近半圆形 (图6.1)。牙釉质存在于上下犬齿的外表面, 牙骨质存在于牙舌面。

横截面形态

河马象牙的一个主要区别特征与犬齿和门齿的牙本质形态有关, 呈现出细小同心线/带, 可用肉眼看到或需要额外放大 (通常可用10倍放大镜; 图6.2A和6.2B)。牙本质的某些区域可能不会呈现这些线条, 并且这种变化与牙齿的表面结构有关 (即是否存在牙釉质或牙骨质)。带有细小线/带的牙本质开始于牙釉质表面的正下方; 在牙骨质表面之下, 这些线/带开始靠近牙本质间隙区 (以下称为牙间质区), 这是发育中牙本质在牙齿/牙本质中心的生长汇合区 (图6.3和6.4)。

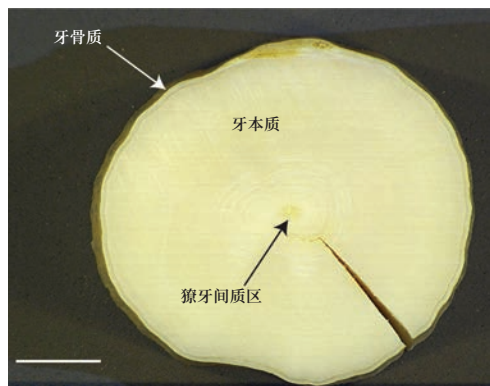


↑ 图6.2A 普通河马 (*Hippopotamus amphibius*) 的下犬齿横截面。

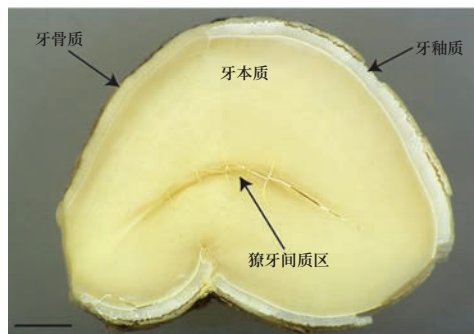
图6.2B 图6.2A中普通河马 (*H. amphibius*) 下犬齿牙本质上的细小同心线。为便于观察, 该图像在斑点荧光下放大30.48倍拍摄, 光源设置为485-590nm, 红外滤光器设置为645nm。请注意图6.2A和6.2B中齿中心的角形牙间质区。

门齿: 河马门齿的横截面呈圆形，有一个小牙间质区。下中门齿表面有牙骨质，缺乏牙釉质 (Locke, 2013)。因此，牙骨质正下方的牙本质缺乏明显的细小同心线，但可以在牙间质区附近观察到 (图6.3)。

犬齿: 上犬齿横截面呈椭圆形、圆形或类似心形 (图6.4)。而下犬齿的横截面呈三角形 (图6.2A)。上犬齿和下犬齿均呈现与牙齿/獠牙形状一致的棱角状。犬齿表面可能同时具有牙釉质和牙骨质，在表面 (牙釉质) 正下方或更靠近牙间质区 (牙骨质) 处可以看到细小同心牙本质线/带。



← 图6.3 普通河马 (*Hippopotamus amphibius*) 的门齿横截面。请注意中间的小牙间质区，在牙间质区附近可以观察到细小同心线，但在牙骨质附近观察不到。比例尺为 5 mm。



← 图6.4 普通河马 (*Hippopotamus amphibius*) 的上犬齿横截面。比例尺为 5 mm。

牙雕制品

很多河马牙齿/獠牙牙雕在设计中保持了牙齿的结构 (图6.5)。因此，虽然可能去除了许多外部特征 (例如，牙釉质和牙骨质)，但可以基于整体形状和尺寸以及横截面形状鉴定河马牙。在较小的牙雕制品中，可以根据上述细小同心线/带的存在和牙间质区的形状 (图6.6A和6.6B) 鉴定河马牙。



图6.5 普通河马 (*Hippopotamus amphibius*) 的原牙和雕刻过的犬齿



图6.6A 普通河马 (*Hippopotamus amphibius*) 上犬齿 (左) 和下犬齿 (右) 牙雕。比例尺为 1 cm。
图6.6B 图6.6A各牙雕的底面。请注意角形牙间质区以及每件制品上可见的细小同心线。

疣猪

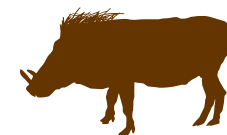
CITES附录 (截至2020年)

Phacochoerus

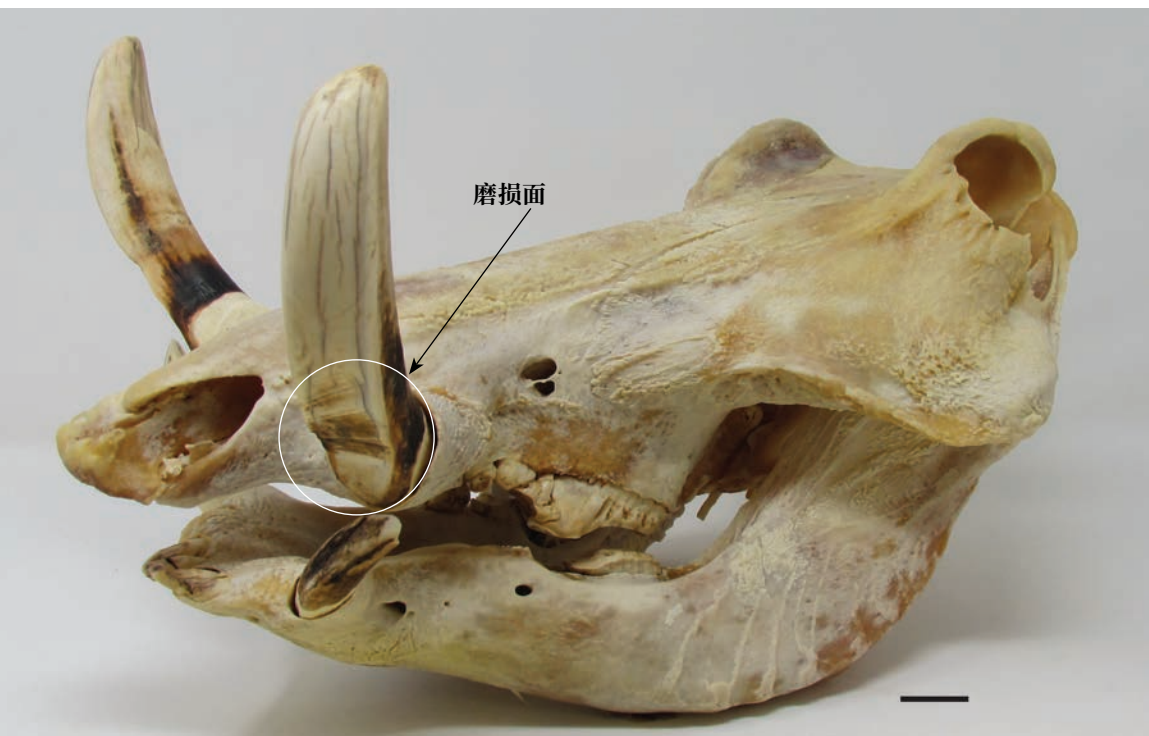
未列入



疣猪



在象牙市场会遇到一些来自于雄性野猪不断生长的大型犬齿。在野猪科中，雄性野猪的犬齿的大小不尽相同，但在交易中发现最大、最坚固的是疣猪的上犬齿 (*Phacochoerus*属，未列入CITES) (图7.1)。下述特征是对疣猪属 (学名: *Phacochoerus*) 上犬齿的观察：该分类群下犬齿相对较短，可以通过横截面形状和牙本质形态与上犬齿相区分。具体而言，下犬齿横截面呈三角形，缺少上犬齿中出现的细小同心线/带。重要的是，另一个物种大林猪 (*Hylochoerus meinertzhageni*) 有着和疣猪属 *Phacochoerus* 类似尺寸的犬齿，其横截面形状和牙本质形态也类似 (Locke, 2013年)。建议谨慎区分这些分类群，同时需要对比参考资料。



↑ 图7.1 疣猪属 (*Phacochoerus* sp) 的头盖骨。请注意在野生动物贸易中常见的大型上犬齿。比例尺为 20 mm。

在野生动物贸易中，还可能会遇到普通野猪 (*Sus scrofa*) 的犬齿，因此有可能与疣猪属相混淆。但是，大型普通野猪 (*S. scrofa*) 獠牙属于下犬齿，可以根据三角形横截面形态和缺乏细小同心线/带与疣猪属獠牙相区分。对于小的，外形有变化的制品（但不包括普通野猪 (*Sus scrofa*) 或其他獠牙较小的野猪，如河猪属《*Potamochoerus*》），则可能需要进行DNA分析。

下述特征以及对尺寸的考虑应适用于疣猪属，也可能适用于大林猪 (*Hylochoerus*)，但后者缺乏充足的对比材料。

原生牙齿/獠牙

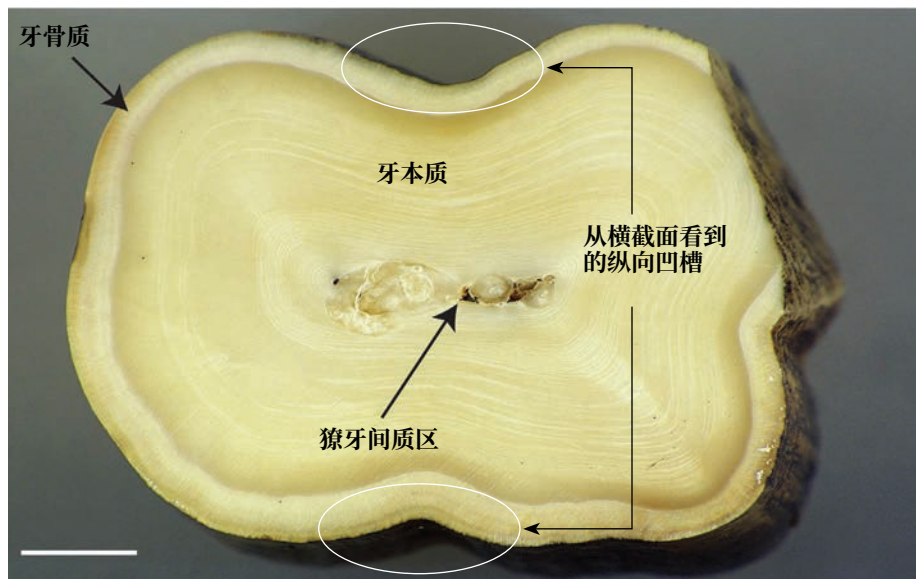
交易中常见的疣猪属原生或雕刻过的上犬齿，可以根据其整体形态与其他牙类制品相区分。上犬齿弯曲度较大。前表面与下犬齿接触有一个磨损面 (图7.1)，牙齿内侧和外侧沿长度方向有一个纵向凹槽 (图7.2)。



↑ 图7.2 疣猪属 (*Phacochoerus* sp) 的上犬齿。

横截面形态

疣猪牙的主要区别特征之一与横截面形状有关，横截面通常呈向中间收缩的矩形(图7.3)。这种向中间收缩的形态是由沿内侧和外侧表面长度的纵向凹槽形成。牙本质也呈现出细小而不规则的同心线/带，用肉眼或者10倍放大镜可以看到。针对这一特征，疣猪牙看起来像河马牙，但是河马牙的细小线间隔通常更加规则。疣猪牙中的细小牙本质线/带也呈波浪形，符合横截面的整体形状(图7.3)。最后，疣猪牙的上犬齿呈现出一种线性牙间质区，和河马牙齿/獠牙牙间质区不同，后者有角度，或者呈较小的圆形。



↑ 图7.3 疣猪属 (*Phacochoerus* sp) 上犬齿的横截面。比例尺为 5 mm。

疣猪牙雕制品

很多疣猪牙雕在设计中保持了牙齿的结构(图7.4)。

因此，可以根据整体形状以及横截面的形状和大小区分疣猪牙。

上述不规则细小同心线/带的存在以及间质区(如有)的形状可以进一步帮助鉴定疣猪牙。



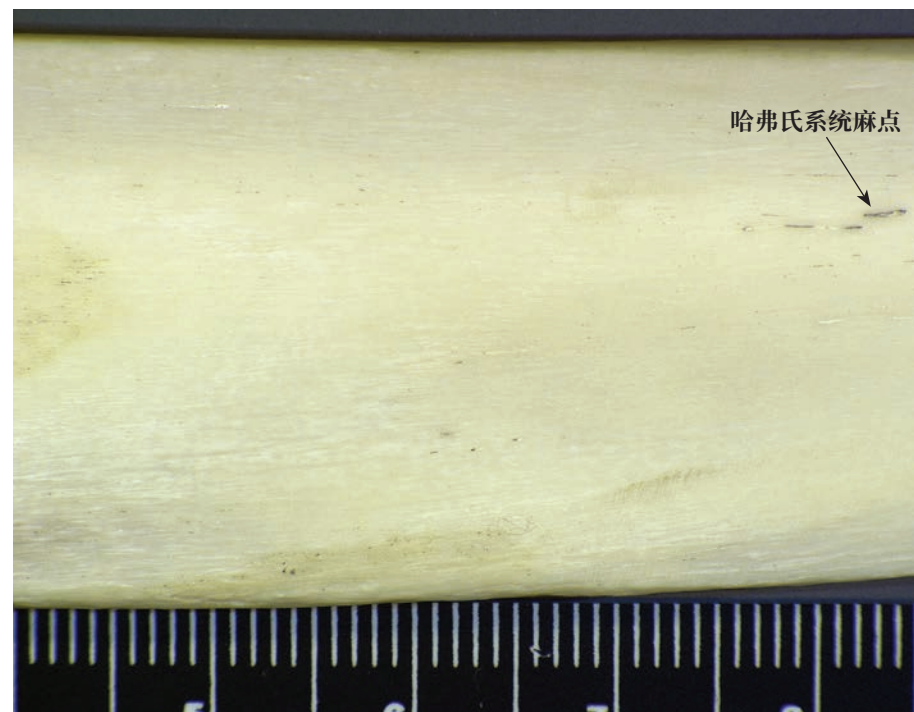
↑ 图7.4 疣猪属 (*Phacochoerus* sp) 的上犬齿牙雕。

天然象牙 替代品



天然象牙替代品

骨头——骨头是一种由羟基磷灰石、蛋白质和脂质组成的矿化结缔组织。最常用作象牙替代品的是密质骨(图8.1),被一系列液体流经的管腔广泛渗透,称为哈弗氏系统。使用10倍放大镜,可以在抛光的骨表面看到哈弗氏管。这些管腔外观呈坑状或不规则划痕(图8.2)。其外观通常因坑壁上附着变色有机材料更加突出。



← **图8.1** 以抛光骨片拼接制成的大型雕刻制品。每片骨头的尺寸约为 1cm^2 。将骨片粘到木质底座上。

↑ **图8.2** 抛光骨特写。这张图片中显示的点蚀是哈弗氏管,可用于鉴定由骨头制成而非牙本质制成的制品。

CITES附录 (截至2020年)

<i>Rhinoplax vigil</i>	附录一
------------------------	-----

盔犀鸟 (*Rhinoplax vigil*) ——CITES 附录 I 所列盔犀鸟的头冠 (图8.3), 这种鸟分布在东南亚, 其头冠可雕刻和抛光。头冠尺寸高达约8×5×2.5厘米, 呈象牙色, 周围是一圈呈明亮的红色, 非常有特点。盔犀鸟的头冠 又名“鹤顶红”和“金玉”。



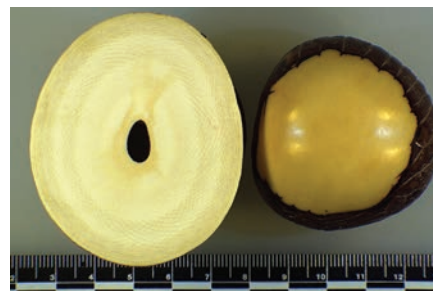
↑ **图8.3** 盔犀鸟 (*Rhinoplax vigil*) 的头冠。虽然有时称为“象牙”头冠, 但这些盔犀鸟由角蛋白构成, 而不是牙本质。右边的两个头冠是完整的头盖骨, 左边的头冠已从头盖骨板上移除。

植物象牙——植物象牙或象牙果主要是塔瓜棕榈树 (*Phytelephas macrocarpa*) 的坚果, 但同一亚科的其他棕榈树也可以生产象牙果。塔瓜树主要生长在南美洲北部潮湿区域。成熟的坚果可以达到苹果大小, 纯白纤维素核非常坚硬, 可用于类似于象牙雕刻品。坚果的外壳 (图8.4) 表面呈深棕色, 经常会融入雕刻之中。

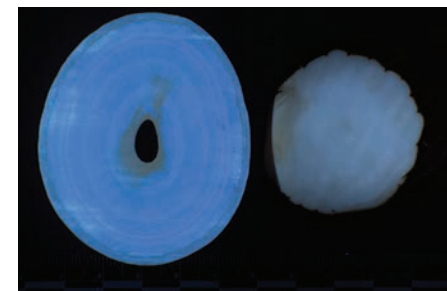
检查雕刻植物象牙或象牙果中的纤维素, 可以发现一系列类似河马牙、间质规则的同心线。使用低倍显微镜仔细观察, 会发现颗粒状或线状外观。在高度弯曲的表面上, 这些特征并非总是明显。植物象牙的紫外荧光与象牙荧光非常相似 (图8.5A和8.5B)。无明显的形态鉴定特征时, 鉴定植物象牙的最好方法是使用傅里叶变换红外光谱法 (FT-IR)。



↑ **图8.4** 两个塔瓜坚果雕刻和一个完整的塔瓜坚果 (*Phytelephas macrocarpa*) 示例。这些植物制品由纤维素构成 (而不是牙本质), 可作为植物“象牙”出售。



↑ **图8.5A** 正常光照条件下大象象牙 (左) 和植物“象牙” (右) 对比。



↑ **图8.5B** 大象象牙 (左) 和植物“象牙” (右) 在365nm处紫外荧光对比。

人造象牙 替代品

人造象牙替代品

人造象牙替代品分为两大类：

- 1)由有机和/或无机材料制成的复合材料，以及
- 2)由源自牛奶的蛋白质——酪蛋白制造的复合材料。一些人造象牙替代品的商品名因制造商而异。图9.1、9.2A和9.2B为人造象牙替代品示例。

不论人造象牙的外观或化学成分如何，都具有一个共同特征，可帮助鉴定象牙替代品：在紫外光下发出的荧光不同。使用长波紫外线光源 (365 nm) 照射时，象牙呈白色/蓝色荧光，而人造象牙替代品根据人造光源的不同，外观呈深蓝色或黄色 (图9.2B)。使



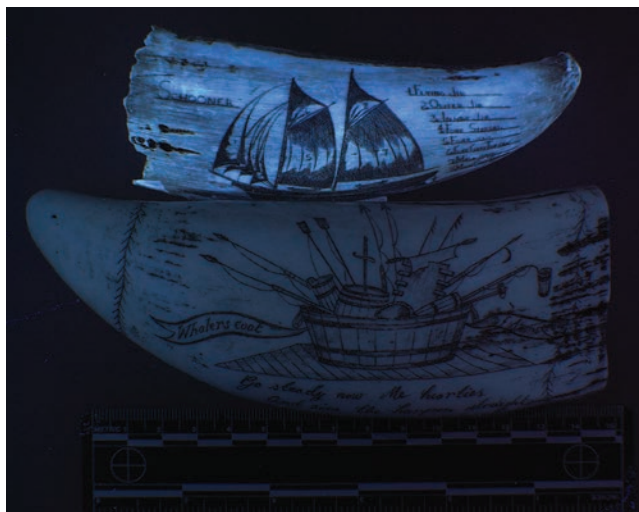
↑ 图9.1 两个类似象牙制品示例。仿鲸牙(前)和仿海象牙(后)由复合树脂制成。虽然外观和鲸鱼牙齿和海象獠牙类似，但仔细检查后会发现缺乏天然形态特征。

人造象牙替代品

用365nm紫外光对人造象牙替代品进行鉴定时，应在黑暗的房间中进行，并使用象牙和人造象牙仿冒代品的对比参考材料进行分析。



← 图9.2A 疑似鲸鱼牙齿。



← 图9.2B 制品对长波紫外线 (365 nm) 的反应。只有顶部牙齿具有牙本质的紫外荧光特征，而底部具有人造树脂的荧光特征



推荐读物和参考文献

CITES 野生动物法医学页面:

https://cites.org/eng/prog/imp/Wildlife_forensics

Ábelová, M. 2008. Schreger pattern analysis of *Mammuthus primigenius* tusk: Analytical approach and utility. *Bulletin of Geosciences* 83(2):225–232.

Alberic, M., et al. 2017. Relation between the macroscopic pattern of elephant ivory and its three-dimensional micro-tubular network. *PLOS ONE* <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0166671>.

Barfod, A.S. 1989. Rise and fall of vegetable ivory. *Principes* 33(4):181-190.

Best, R.C. 1981. The tusk of the narwhal (*Monodon monoceros* L.): Interpretation of its function (Mammalia: Cetacea). *Canadian Journal of Zoology* 59:2386-2393.

Brown, G., Moule, A.J. 1977. The structural characteristics of elephant ivory. *The Australian Gemmologist* 13(1):13-17.

Brown, G., Moule, A.J. 1977. The structural characteristics of various ivories. *The Australian Gemmologist* 13(2):47-60.

Bruemmer, F. 1989. Arctic treasures. *Natural History* 98:39-46.

Burack, B. 1984. *Ivory and its uses*. Charles E. Tuttle Co., Vermont, United States.

Butynski, T.M., de Jong, Y.V. 2018. Common warthog *Phacochoerus africanus* (Gmelin, 1788). In *Ecology, Conservation and Management of Wild Pigs and Peccaries* (Melletti, M. and Meijaard, E., eds.). Cambridge University Press: Cambridge, United Kingdom:85-100.

CITES Wildlife Forensics: https://cites.org/eng/prog/imp/Wildlife_forensics

Chiyo, P.I., Obanda, V., Korir, D.K. 2015. Illegal tusk harvest and the decline of tusk size in the African elephant. *Ecology and Evolution* 5(22):5216-5229.

Dyer, M.P. 2018. Scrimshaw. In, *Encyclopedia of Marine Mammals*, 3rd edition, edited by B. Wursig, et al., Academic Press, New York, United States: 841-845.

Espinoza, E.O., et al. 1990. A method for differentiating modern from ancient proboscidean ivory in worked objects. *Current Research in the Pleistocene* 7:81-83.

Espinoza, E.O., Mann, M.J. 1993. The history and significance of the Schreger pattern in proboscidean ivory characterization. *Journal of the American Institute for Conservation* 32(3):241-248.

Fisher, D.C., Trapani, J., Shoshani, J., Woodford, M.S. 1998. Schreger angles in mammoth and mastodon tusk dentine. *Current Research in the Pleistocene* 15:105–107.

Granfield, K., et al. 2014. The narwhal (*Monodon monoceros*) cementum-dentine junction: A functionally graded biointerphase. *Journal of Engineering in Medicine* 228(8):754-767.

Ishida, Y., Georgiadis, N. J., Hondo, T., Roca, A. L. 2013. Triangulating the provenance of African elephants using mitochondrial DNA. *Evol Appl*, 6: 253-265. doi:10.1111/j.1752-4571.2012.00286.x

Kingsley, M.C.S., Ramsay, M.A. 1988. The spiral in the tusk of the narwhal. *Arctic* 41(3):236-238.

Lambert, W.D. 2005. The microstructure of proboscidean ivory and its application to the subordinal identification of isolated ivory specimens. *Bulletin of the Florida Museum of Natural History* 45:521-530.

Leslie, Jr., D.M., Huffman, B.A. 2015. *Potamochoerus porcus* (Artiodactyla: Suidae). *Mammalian Species* 47(919):15-31.

Liang, J., et al. 2014. Identification characteristics of natural and imitation hornbill ivory. *The Journal of Gemmology* 34(1):42-49.

Locke, M., Dean, R.L. 2003. Vascular spaces in compact bone. *The American Biology Teacher* 65(9):701-707.

Locke, M. 2004. Structure of long bones in mammals. *Journal of Morphology* 262(2):546-565.

- Locke, M. 2008. Structure of ivory. *Journal of Morphology* 269-423-450.
- Locke, M. 2013. *Bone, Ivory, and Horn: Identifying Natural Materials*. Schiffer Publishing, Ltd.: Atglen, Pennsylvania, United States.
- Loxodonta* Localizer. <https://www.loxodontalocalizer.org/>
- Manger Cats-Kuening, C.S.W. 1961. Casque and bill of *Rhinoplax vigil* (Forst.) in connection with the architecture of the skull. *Verhandelingen der Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen. Afdeling Natuurkunde. Series 2.* 53(3):1-51.
- Mayer, J.J., Brisbin, I.L. Jr. 1988. Sex identification of *Sus scrofa* based on canine morphology. *Journal of Mammalogy* 69(2):408-412.
- McDonnell, D. 1965. Crystal chemistry of hydroxyapatite: its relation to bone mineral. *Archives of Oral Biology* 10:421-431.
- MacKinnon, J. 1981. The structure and function of the tusks of babirusa. *Mammal Review* 11(1):37-40.
- Maskell, A. 1966. *Ivories*. Charles E. Tuttle Co., Vermont, United States.
- Miles, A.E.W., Boyde, A. 1961. Observations on the structure of elephant ivory. *Journal of Anatomy* 95(3):450.
- Miles, A.E.W., White, J.W. 1960. Ivory. *Proceedings of the Royal Society of Medicine* 53:775-80.
- Miller, W. D. 1890. Studies on the anatomy and pathology of the tusks of the elephant. *Dental Cosmos* 32:337-48.
- Nweeia, M.T., et al. 2014. Sensory ability in the narwhal tooth organ system. *The Anatomical Record* 297:599-617.
- Owen, R. 1845. *Odontography*. London, United Kingdom.
- Owen, R. 1856. Ivory and the teeth of commerce. *Journal of the Royal Society of Arts* 5:65-71.
- Palombo, M.R., Villa, P. 2001. Schreger lines as support in the Elephantinae identification. In, *The World of Elephants*, edited by G. Cavarretta, et al., Rome, Italy: 656-660. *Proceedings of the 1st International Congress. Consiglio Nazionale delle Ricerche, Rome, Italy.*
- Penniman, T. K. 1952. Pictures of ivory and other animal teeth, bone and antler. *Occasional Paper on Technology* 5:4-40.
- Raubenheimer, E.J., Bosman, M.C., Vorster, R., Noffke, C.E. 1998. Histogenesis of the chequered pattern of ivory of the African elephant (*Loxodonta africana*). *Archives of Oral Biology* 43:969-977.
- Raubenheimer, E.J. 2000. Early development of the tush and the tusk of the African elephant (*Loxodonta africana*). *Archives of Oral Biology* 45:983-986.
- Reyna-Hurtado, R., d'Huart, J.P., Turkalo, A.K. 2018. Forest hog *Hylochoerus meinertzhageni* (Thomas 1904). In *Ecology, Conservation and Management of Wild Pigs and Peccaries* (Melletti, M. and Meijaard, E., eds). Cambridge University Press: Cambridge, United Kingdom:114-121.
- Rorimer, J.J. 1931. *Ivory and bone. Ultraviolet rays and their use in the examination of works of art*. Metropolitan Museum of Art, New York, United States.
- Schabillon, S. 1983. *All in a nutshell: The story of the vegetable ivory nut*. Keystone Comedy, Flora, Mississippi, United States.
- Scheffer, V.B., Myrick, A.C. Jr. 1970. A review of studies to 1970 of growth layers in the teeth of marine mammals. *Reports of the International Whaling Commission, Special Issue* 3:51-63.
- Schreger, B.N.G. 1800. Beitrag zur geschichte der zähne. *Beiträge für die Zergliederungskunst* 1:1-7.
- Sims, M.E. 2010. Unusual appearance of Schreger-like pattern in *Hippopotamus amphibius* ivory: Wildlife forensics investigation of a netsuke. *Forensic Science International* 200(1-3):e19-e20.

Sims, M.E., Baker, B.W., Hoesch, R.M. 2011. Tusk or bone? An example of ivory substitute in the wildlife trade. *Ethnobiology Letters* 2:40-44.

St. Aubyn, F, editor. 1987. *Ivory: An international history and illustrated survey*. Harry N. Abrams, Inc., New York, United States.

Trapani, J., Fisher, D.C. 2003. Discriminating proboscidean taxa using features of the Schreger pattern in tusk dentine. *Journal of Archaeological Science* 30:429-438.

UNODC. 2014. Guidelines on methods and procedures for ivory sampling and laboratory analysis. International Consortium on Combating Wildlife Crime (ICWC). United Nations, Vienna.

Van der Merwe, N.J., et al. 1990. Identifying ivory. *The Rhino and Elephant Journal* 4(July):12-15.

Vereshchagin, N.K. 1974. The mammoth “cemeteries” of north-east Siberia. *Polar Record* 17(106):3-12.

Virag, A. 2012. Histogenesis of the unique morphology of proboscidean ivory. *Journal of Morphology* 273(12):1406-1423.

Weissengruber, G.E., Egerbacher, M., Forstenpointner, G. 2005. Structure and innervation of the tusk pulp in the African elephant (*Loxodonta africana*). *Journal of Anatomy* 206(4):387-393.

Wilson, D.E., Mittermeier, R.A. (eds). 2011. *Handbook of the mammals of the world. Vol. 2. Hoofed Mammals*. Lynx Edicions: Barcelona, Spain.

Witztum, A., Wayne, R. 2012. Button botany: plasmodesmata in vegetable ivory. *Protoplasma* 249:721-724.

Yates, B.C., Sims, M.E. 2010. Tupilak transformations: Traditional ivory objects as modern souvenirs. *Anthropological Approaches to Zooarchaeology: Colonialism, Complexity, and Animal Transformations*, edited by Campana, D., Crabtree, P., deFrance, S.D., Lev-Tov, J., Choyke, A. Oxbow Books/David Brown Book Co., Oakville, Connecticut, United States: 230-234.



象牙鉴定的现代法医方法

上一节中概述的形态鉴定方法可以迅速、无损地对比仿冒和天然象牙样本。如果无法通过宏观和微观形态特征进行样本鉴定，也可使用其他法医学方法帮助解答关于物种鉴定、死亡年份、地理起源和大象个体鉴定的问题。这些法医学方法学发展迅速，一些流程仍在编制之中，其他流程也得到了较好的支持 and 应用。可能既包括专有技术，也包括开放源代码数据和技术，法医实验室和其他用户可以公开访问这些数据和技术。

2014年，联合国毒品和犯罪问题办公室 (UNODC) 与打击野生动植物犯罪国际联盟 (ICCWC) 合作，发布了《象牙采样和实验室分析方法和流程指南》。经过这两个机构许可，我们沿用了实验室分析部分 (第二部分)，其中全面说明了各种工具、方法和测试，可以应用于象牙鉴定的法医学检查。方法包括傅立叶变换红外光谱 (见第14.1.2节)、拉曼光谱 (第14.1.2节)，包括线粒体DNA在内的DNA分析 (mtDNA) (第14.1.3节、第14.3.1节) 和同位素分析 (第14.2.2节、第14.3.2节)。

该指南涵盖了相关实验室方法和分析，自2014年发布以来，近年来有一项最新开发资源值得参考。“Loxodonta Localizer”是一个基于网络的平台，可为用户提供分析mtDNA数据，确定非洲象牙样本的地理来源。此开源工具可免费使用，源数据已通过独立专家同行评审，详情访问<https://www.loxodontalocalizer.org/>。Loxodonta Localizer数据库工具基于来自24个国家的非洲象 (包括森林象和草原象) 的mtDNA序列数据。Ishida等人于2013年对该数据集进行了说明，并使用附加序列进行了更新。用户输入一个来自非洲象样本线粒体控制区序列的316个碱基对，就可以显示具有相似序列的大象样本的地理位置。

很多开发之中的测试和分析可能适用并很快可用，但并未包含在2020年出版的CITES象牙鉴定指南中。这些方法未来通过验证并复制后，将有可能收录到未来版本中。



UNODC

United Nations Office on Drugs and Crime



象牙采样及实验室分析 技术和程序指南

UNODC和ICCWC联合编制的象牙采样及实验室分析技术和程序指南(2014)免责声明。

以下文本为摘录部分，由UNODC与 ICCWC联合从2014年准则中直接转载，不代表本象牙鉴定指南、CITES、联合国、美国鱼类和野生动物管理局、国际野生生物贸易研究组织或世界自然基金会作者的观点或意见。

操作和实验条件从原始参考材料中复制（包括未公开方法），并根据参考文献列表进行验证和使用。在很多情况下，许多替代条件和指定商业制品的替代品可以提供对比结果，但任何修改都必须在纳入实验室常规之前得到验证。提及的公司和商业制品名称并不表示支持CITES、国际野生生物贸易研究组织、联合国、美国鱼类和野生动物管理局或世界自然基金会。

UNODC和ICCWC联合编制的《象牙采样及实验室分析技术和程序指南》(2014)摘要版权

© 联合国，2014年11月保留所有权利。对本出版物中所用名称和材料的表述并不代表联合国秘书处对任何国家、领土、城市或地区或其当局法律地位或对其边界或界线划定的任何意见。该出版物未经正式编辑。出版制作：英语，奥地利联合国维也纳办事处出版和图书馆科。



© CLAIRE CLARKE



UNODC
United Nations Office on Drugs and Crime

第二部分 实验室分析

实验室分析是一种确认象牙样本物种、年代和来源并将样本与大象个体联系起来的有力手段。根据样本类型和分析目的，实验室分析的步骤可能不同。本节为技术性内容，面向在特定领域有专长的实验室分析师。

14. 实验室分析注意事项

象牙样本类型分为两大类：

- 原牙：未经加工的完整或原牙片段
- 象牙制品：象牙的一部分，如雕刻装饰品、印章、耳环、吊坠等。

在决定分析采用的过程和流程时，需要考虑象牙样本的类型。

测试象牙样本的科学方法取决于要解决的问题和可用的法医/科学能力，包括适当的设备和技能。涉及象牙的调查问题通常分为以下几类：

- 这是象牙吗？如果是，来自什么物种？
- 这只动物死于何时？这只象牙样本有多少年了？
- 这头大象死在何处？
- 死了多少头大象？

至关重要的是，所有执行以下流程的人员均了解优良实验室规范的必要性。所有流程均应通过验证，标准操作流程应到位。进行分析的实验室需要确保这些方法的可靠性、有力性和可重复性。实验室首次使用公开、经过验证的方法时，需要进行方法验证。确保在实验室进行时结果的可复现性。

14.1 物种鉴定方法

象牙可能来自多个物种。除大象之外，其他动物的獠牙交易也由来已久、广受关注。因此确定象牙的物种来源非常重要。为此，可以使用多种测试。表1概述了这些方法对不同类型象牙样本的适用性。这些方法涵盖基于技能的无损测试到基于设备的有损测试。

14.1.1 形态

外观形态检查可能是一种必要方法。整颗獠牙可能不需要任何进一步科学测试。如果样本属于删除獠牙切片，则首次测试时可以使用显微镜。已编制出通过外观、无损手段鉴定象牙的指南。包括通过检查史垂格线鉴定象牙信息，用于区分不同物种的象牙[10]。

14.1.2 振动光谱学：傅里叶变换红外光谱和拉曼光谱

某些分子在暴露于红外线或激光能量下时，会显示出诊断振动图案。这些图案（带状）总体显示了所研究材料的成份。在象牙中，这些技术主要用于两个目的：

- 确定雕刻制品由象牙制成还是塑料制成
- 确定雕刻制品来自猛犸象象牙还是现代象牙

傅里叶变换红外光谱（FTIR）和拉曼光谱是区分象牙状塑料和真正羟基磷灰石基象牙的最佳工具。振动光谱属于无损技术，使用方便。但这些分析工具无法从众多长牙的动物中确定确切种类[25-32]。

14.1.3 线粒体DNA

线粒体DNA用于分类学和法医学的众多领域，包括人类和野生动物学科。线粒体DNA分类可以进行物种鉴定，需要使用特定的设备。这是一种有损方法；但只需要少量样本即可分析。

表1 物种鉴定方法的适用性

试验	象牙	加工象牙	组织
形态	基于整个结构	基于整个结构	并非始终可能
<ul style="list-style-type: none"> • 无损 • 不需要设备 	可根据可用细节数量使用形态特征		
拉曼光谱学	根据可用样本质量，可以达到科或属的水平 不理想		
<ul style="list-style-type: none"> • 无损 			
FTIR			
<ul style="list-style-type: none"> • 无损 • 需要特定工具 			
DNA	线粒体DNA位点如细胞色素b (cyt b) 或细胞色素氧化酶1 (COI) 为物种信息，可在所有样本类型中进行分析		
<ul style="list-style-type: none"> • 有损 • 需要设备 			

14.2 年代鉴定方法

提供关于动物存活时间的有用信息，年代鉴定可以表明缴获的象牙是否来自近期偷猎事件。此外，年代鉴定可以为CITES管理部门提供是否可以将象牙归类为公约前的标本，从而决定公约的规定是否适用于该标本。表2概述了根据样本类型确定象牙年代的方法适用性。

14.2.1 形态

在某些情况下，可以通过样本的物理特性确定年代；例如，血液的存在、强烈尸体气味的存在，或者代表某个特定时代的雕刻风格。但是，根据外观判断年代时必须谨慎，因为可通过做旧手法使新象牙看起来像是老象牙制品。

14.2.2 同位素

确定样本年代的一种更好的科学方法是同位素分析。同位素是一种元素的不同形式，由于原子核中的中子数不同，其质量也不同。地球上的多数同位素都很稳定，但有些具有放射性，会在半衰期的一段时间内衰变。象牙从象牙内牙髓腔的边缘分泌；因此，年代最近的象牙沿着这个边缘形成，从边缘向外距离的增加逐渐变老。横向增长率约为每年5mm，纵向增长率约为每年5cm[33]。象牙由生物磷灰石（牙本质）和胶原蛋白组成，比例约为70:30。象牙中的生物磷灰石和胶原蛋白形成后，元素或同位素就不会交换，因此可提供同位素比率的时间序列[34]。稳定同位素记录着利用这些同位素的自然丰度饮食（食物中含有的C、N、S）或水（食物和水中含有的H、O）的历史。

放射性同位素可以确定原牙或加工象牙的年代。如果原牙完整，通常可以确定死亡年份；如果象牙经过加工，通常可以确定样本生长的年份。20世纪50年代和60年代初的核武器试验几乎使大气中的碳14 (¹⁴C) 浓度增加一倍。此后，在自然过程（主要是生物圈和海洋中的吸收和再循环）的作用下，浓度逐渐降低。2014年降至自然浓度的4%左右。由于放射性碳的半衰期很长（5730年），过去50年来，由来已久的“炸弹曲线”被广泛用于测定20世纪50年代中期以来形成的样本年代。植物和动物组织中测得的¹⁴C浓度可通过适当的采样方案确定几年内的形成年份；在某些特殊情况下，形成年份可以确定到±0.5岁以内。如果沿活跃生长界面采集样本，则可以确定死亡年龄[31, 33]。因此，“炸弹曲线”有助于精确测定1955年至今的时间。

但是，“炸弹曲线”迅速升高，大约在1964年达到顶峰，之后逐渐下降。因此，大多数缴获的样本很可能处于炸弹曲线的下降边缘。但在某些情况下，可能会得到两个年代结果（一个从1955年到1965年；另一个从1965年至今）。如需验证结果，一种方法是使用一种不同于¹⁴C的同位素，例如近期研究建议的⁹⁰Sr[35]。另一种方法是基于镭（生物可利用）与钍（非生物可利用）的相对吸收。这种方法可确定自组织形成以来的绝对时间，与“炸弹曲线”无关[36]。第三种方法是沿关注样本的生长轴测量从相邻位置获取的两个¹⁴C子样本。

在大多数情况下，在大气中¹⁴C同位素的浓度达到背景水平之前，¹⁴C可以确定象牙样本的年代，精确到几年之内。使用加速器质谱进行¹⁴C测

年，样本的碳含量应约为1mg，通常相当于约10mg的原牙牙。因此，沿象牙内缘、沿原牙—牙髓界面采集的样本可以确定死亡日期。在某些需要解决象牙¹⁴C炸弹曲线的双解问题的情况下，需要测量⁹⁰Sr或²²⁸Th/²³²Th比值，或测量沿生长轴相邻位置采集的两个¹⁴C子样本；对于⁹⁰Sr或²²⁸Th/²³²Th比率的测量，此类分析至少需要10g象牙[33, 37]。

表2 象牙样本年代测定方法的适用性

试验	象牙	加工象牙	组织
形态，是否有老化的迹象或样本外观比较新	整体结构	整体结构 雕刻方法或风格	不可能
放射性同位素	根据放射性核素的组合给出 ± x 年 (¹⁴ C, ⁹⁰ Sr, ²²⁸ Th/ ²³² Th)		仅对代谢惰性组织有用

14.3 物种地理来源的鉴定方法

鉴定象牙的地理来源可以为执法人员提供情报，而且有助于检测偷猎热点。表3概述了确定象牙样本地理来源方法的适用性。

14.3.1 DNA分析

有三个DNA区域可鉴定地理起源：mtDNA、Y染色体STR和常染色体（核）DNA微卫星。使用微卫星进行DNA分型是一种经过验证的地理分配方法。可以使用线粒体DNA等其他遗传标记，特别是在没有足够的核标记DNA时，也可以使用Y连锁微卫星。但是，与使用常染色体核微卫星标记相比，使用mtDNA和Y染色体STR进行起源鉴定的辨别能力较低。由于性别特异性传播，这些方法也需要非常全面的采样。如果单倍型存在于来自其他地理位置的未采样种群，则该单倍型的共同存在不能推断其起源。同样，一个地理位置单倍型缺失的原因可能是不完全采样，因此不一定意味着样本来自其他地方。

Y染色体上微卫星具有一个特殊优势，它们只能通过公象遗传给雄性后代。与所述标记相比，线粒体DNA分型和Y-STR标记的辨别能力明显较低[38]。

14.3.2 同位素分析

稳定同位素分析广泛用于确定动物饮食。地理分布同位素地图可用于确定植物、动物和加工材料的地理来源[39]。野生动物来源的研究是基于天然同位素丰度比率的遗传，该比率基于当地食物网（碳）、生态学（氮）、地质学（锶）、地理学（硫，包括海洋气溶胶）和海拔（氧和氢）。总体而言，同位素组合可以在地理空间上产生有限的空间交集。可以分析象牙中生物磷灰石的碳、氧和锶同位素；可以分析象牙中胶原蛋白的碳、氮和硫同位素；如果关注可交换同位素，可以分析胶原蛋白中的氧和氢。

Van der Merwe等人 and Vogel等人证明，稳定同位素（碳和氮）可用于区分不同的非洲象种群[40, 41]；van der Merwe等人 and Vogel等人证明，⁸⁷Sr/⁸⁶Sr等与当地基岩地质年龄相关的重同位素也可以区分大象种群[42, 43]。Lee-Thorp等人，Hall-Martin等人 and Hart等人的著作[44-46] 建立于Emslie等人（2001）和Amin等人[47-49]的基础之上，并发现犀牛角的稳定同位素比率化学成分也因地区和物种而异，反映了地质和降水的差异。最近，Ehleringer等人、Valenzuela等人 and Chesson等人绘制了整个北美的水和人类的同位素图，证明一致的模式是由当地的地质、饮食和气象模式造成的[50-52]。这些被称为“同位素分布图”[39]，广泛用于对各种野生动物研究。为帮助确定象牙来源，Ziegler等人编制了大象象牙“同位素分布图”[53]。Cerling等人应用碳、氧和氮同位素测定了肯尼亚大象的“同位素分布图”[54]，Ziegler等人证明，象牙中多种同位素的测量可大大提高种源研究的预测能力[55]。

稳定同位素分析有助于回答特定的合规性问题，例如样本是否来自特定区域。根据样本和参考数据库的性质，稳定同位素分析可能能够鉴定具有精确地理来源的未知样本。任何鉴定工具的精确度取决于所用测量方法的数量和可变性，以及用于进行分配的地理特定参考样本地图的全面性，用以提供关于象牙地理来源的补充信息。

表3 确定象牙地理分布测定方法的适用性

试验	象牙	加工象牙	组织
核微卫星	只要能分离出约1ng的DNA，所有样本类型均可以		
线粒体DNA	所有样本类型均可以，特别是在分离的DNA少于500pg时		
Y微卫星	只要能分离出约1ng的DNA，所有样本类型均可以		
稳定同位素	如果为多重同位素测试提供至少30mg的材料，则可以鉴定象牙和骨骼头材料		如果建立了参考数据库，则可以鉴定

14.4 确定大象个体数量的方法

将象牙与大象个体联系起来，科学家就可以估算出大象死亡的数量。表4列出了将象牙与大象个体相联系的方法的适用性。

如果象牙完整（或接近完整），则象牙起源的最小数量可以简单地通过计算象牙的数量（n）除以2确定。但是，如果大象在死亡时整只原牙没有成对出现，则这种方法可能会大大低估其真实数量，而针对已加工的象牙，这种方法则完全不适用。

目前有一种科学方法可以确定大象个体的数量，即DNA分型（表4）[56]。Wasser等人和其他人描述的微卫星可将缴获的样本与尸体或其他缴获的样本联系起来，其方式与用于人类识别的DNA图谱分析非常相似[38, 57, 58]。同样，利用RhoDIS系统进行的DNA分型已成功用于犀牛法医调查和法庭起诉中[59]。线粒体DNA——遗传给所有后代，但通过母系遗传，而Y微卫星——仅通过父系遗传，这一点对于将缴获的样本与尸体或其他缴获的样本联系起来具有特定但互补作用，并且在科属匹配（将原牙与其科属物种匹配）方面也非常有价值。

表4 象牙样本个体鉴定方法的适用性

试验	象牙	加工象牙	组织
最低个体数量	如果有完整的原牙（包括重新组装的部分），则可以使用n/2	不可能	不可能
微卫星	允许标准DNA分配统计和个体鉴定		
线粒体DNA	适用于所有样本，但仅可鉴定母系血统		
Y微卫星	仅适用于雄性样本，仅可鉴定父系血统		

14.5 流程

14.5.1 DNA分析

样本预处理

理想情况下，所有工作均应使用合适的设施，最大限度地减少样本污染，尤其是来自其他象牙样本、各种大象参照材料，特别是来自聚合酶链反应（PCR）产品的样本污染[60, 61]。

象牙中的DNA有限，加工象牙中的DNA可能更少。象牙外表面很可能存在人类DNA。最好清洗样本表面，然后用10%漂白剂擦拭（或用去离子水擦拭，然后用30 U/ml苯并酶核酸酶擦拭）去除人体污染物。清洗后，务必戴上手套处理样本，防止进一步受到人类DNA的污染。同时有必要在不同的时间和地点进行处理，或者确保物理分离，避免来自其他大象材料的DNA污染材料。

基因组和线粒体DNA样本制备和提取流程

DNA提取必须遵循标准方法。关于从象牙中提取DNA，请参考Mailand和Wasser[62]。另外，注意避免象牙在粉碎提取DNA过程中过热，否则可能会造成DNA降解。避免此类情况的一种方法是使用冷冻研磨机，

这种研磨机使用液氮将象牙冷冻至-200℃，便于粉碎，同时可在此过程中保护DNA。无论使用机械设备还是人工方法，都要确保将从一种象牙提取到另一种象牙的污染机会降至最低。处理不同样本时，要彻底清洁仪器。可以选择使用10%漂白剂和紫外线进行清洁。

为确保在提取过程结束时的DNA充足，每次提取大约需要200mg的象牙粉末。象牙中含有的大象DNA相对较少，但含有大量的钙等矿物质。因此，必须在象牙粉碎成细粉后去矿物质。将粉碎后的象牙粉末在高含量乙二胺四乙酸（EDTA）中培养，可有效去除溶液中的钙。在4℃下将象牙粉末置于0.5 M EDTA溶液中，在无菌试管中培养过夜，清洗并重复24小时。对于同一个样本，由于DNA在象牙中分布不均匀，因此理想情况是进行两次提取。两次提取有助于确保获得可靠数量的DNA，从而最大化扩增样本中所有等位基因形式的机会[62, 63]。

使用一系列方法从提取缓冲液中纯化DNA，包括使用商业用的产品。为增加DNA数量，从同一样本中提取到的多份提取物可以混合使用，但必须注意只能合并已经完全脱矿的样本。

通过聚合酶链反应扩增DNA

由于各种原因，一些象牙样本可能难以分析。如果两份提取物均无法完全扩增出DNA，而其他样本使用正常，只要存在备选样本，进一步分析时最好丢弃该样本。如果两份提取物中的一份可以正常使用，而另一份不起作用，那么可以从该样本中添加第三份提取物。如果大多数样本均以失败告终，应检查每一个步骤，确保每一步的操作正确，这一点很重要。

如果DNA存在于样本中，但无法扩增DNA，则样本中可能含有阻止DNA扩增的抑制剂。有多种样本净化技术可去除抑制剂。有时可以稀释样本，以此减少提取物中抑制剂的数量。在这种情况下，DNA也会被稀释。但是，只要DNA引物能够找到DNA，就可以扩增。浓缩DNA也是一种选择。有时，最好两种方法都尝试一下，看看在具体情况下哪种方法最有帮助。

通过聚合酶链式反应（PCR）进行DNA扩增有一个很大的好处，就是具有高度敏感性，但如果实验没有在洁净的环境中操作，并将污染的机会降到最低，高度敏感性可能会成为一个问题。对照样品料不得与缴获

物品的DNA在同一实验室空间进行分析。需要佩戴干净的手套，并使用阴性和阳性对照[60, 61]。阴性对照使用无菌H₂O（空白溶液含有无DNA的无菌水，而不是DNA溶液）代替DNA。对于常染色体微卫星扩增，以来自两个非洲象物种之一的DNA作为阳性对照。对于mtDNA而言，每一个物种的DNA都是阳性对照。在这种情况下，来自对照组的DNA也应该扩增相同的产物，这与所添加的对照动物DNA已知基因型相同。

由于基因在象牙中的分布不均匀，建议从两个或更多提取物中对每个样本扩增微卫星基因，使每一份提取物在两个独立反应中扩增。为确认结果，每个杂合等位基因应至少检测两次，每个纯合等位基因应至少检测三次。这样有助于防止每个基因座在DNA被降解时缺失两个等位基因中的一个（如果在遗传分析仪上出现非常小的荧光峰，或者在凝胶上出现光带、多个缺失的基因座以及在确实扩增的基因座中有过多的纯合基因座）。了解关于微卫星标记的进一步信息，请参考Wasser等人的文章[38]。

物种测试中采用了两个主要的线粒体DNA位点：细胞色素b（cyt b）或细胞色素氧化酶1（COI）位点，因为两者均有广泛的参照数据进行对比。查看示例，请参考Lee等人的文章[64]。这两个基因座在检测区域内有足够的DNA序列，因此所有现存的大象物种均可以彼此分离，也可以与任何其他哺乳动物物种分离（包括已灭绝的猛犸象）。著作《生命条形码联盟》*已经将一部分COI基因座标准化，并将通过DNA分型进行的物种分配与基于形态学的分类学和知识相结合，帮助进行准确的物种分配。

两个基因座的引物组可查看已发表的科学文献，例如，扩增cyt b基因座的400个碱基对部分或COI基因座的645个碱基对部分。这些是基因座的标准部分，有充足的参考数据可供对比。完整详情见Linacre和Lee的文章[65]。

象牙DNA数据与参照数据的序列比对可使用免费软件（如MEGA v4）执行。亚洲象、草原象、森林象和猛犸象之间的差异在任何地点都大于2.5%。对比来自同一物种的两个样本，相异度小于1.5%可视为物种内变异[66]。

* 《生命条形码联盟》有助于将DNA条形码编制成为物种鉴定全球标准。DNA条形码是一种利用生物体脱氧核糖核酸中的遗传标记鉴定其特定物种的方法。了解更多信息，请参考<http://www.barcodeoflife.org/>。

DNA片段分析流程

毛细管电泳设备应装载基因图谱软件或基因标记软件。应使用Rox500等尺寸标记作为内部泳道标准。DNA图谱应该来自单一来源，并且无任何来自多个个体的混合迹象（例如，在同一样本中检测到每个基因座 ≥ 3 个等位基因）。阴性对照应没有任何基因图谱。阳性对照应产生正确的DNA图谱。

DNA数据分析

mtDNA序列数据分析

象牙DNA数据与参照数据的序列比对均可使用免费软件执行（如分子进化遗传学分析MEGA，亚利桑那州立大学）[67]。亚洲象、草原象、森林象和猛犸象之间的差异在任何地点都大于2.5%。对比来自同一物种的两个样本，相异度小于1.5%可视为物种内变异。

常染色体微卫星基因片段分析

记录碱基对或数据点的大小以及每个峰的高度。峰高数据有助于确认数据的可靠性。大小数据对于个体分配和地理测试必不可少，例如，使用平滑连续赋值技术（SCAT）软件。*

SCAT可识别森林象、热带草原象或杂交亚种象的样本[38]。SCAT使用贝叶斯方法，通过马尔可夫链蒙特卡罗空间平滑同时估计非洲任何地方的等位基因频率[68, 69]。假设等位基因频率取决于所有参考样本，其空间相关性取决于种群之间的距离。然后使用SCAT将原始种群分配给所有纯（非杂交）样本，使用估计等位基因频率的同一亚种——森林象或草原象。来自同一个亚种的多个样本在非洲所有地区使用统一的先验独立分配，或者作为一个种群使用Voronoi先验，利用样本之间的遗传相似性[63]。种群分配假设查询样本从由一个或多个多边形组成的相同区域均匀采样（这些多边形不一定相邻），通过称为Voronoi分布的过程进行鉴定[63, 70]。

基因座包含需要确认两个等位基因。在理想情况下，16个确认位点中少于10个的样本应排除在统计分析之外。然而，仍然可以利用至少7个确认基因座可靠地进行分析。

* 登录<http://conservationbiology.uw.edu/research-programs/tracking-poached-ivory/scat-win/>和<http://stephenslab.uchicago.edu/software.html>，可以通过Windows和Macintosh免费使用软件

14.5.2 同位素分析

稳定同位素

用小型手锯或钳子从象牙近端的不同位置取出至少30mg象牙碎片。由于这是象牙最新的部分，所以假设同位素信号反映了动物死亡前的生活环境。从牙髓腔边缘采集的样本可提供过去6到12个月的地理信息。碎片应密封在聚乙烯袋中，等待进一步分析。也可以从加工象牙中提取样本，但这样会降低确定大象死亡出处的准确性，原因是象牙形成和大象死亡之间的时间未知，在此期间，大象可能已经分散到远处。这种担忧对雄性尤为重要。

使用硬化钢制成的球磨机粉碎后，研磨罐继续用液氮在-196℃下冷却，样本应使用二氯甲烷清洗，提取矿物和骨骼表面弱结合的吸附水以及组织脂肪等非极性物质，然后在60℃下风干36小时。样本应储存在干燥器中，避免受潮。应使用高精度连续流动同位素比率质谱仪（IRMS）对不同轻元素稳定同位素比率的子样本（1-4.5毫克）进行同位素测量。粉碎后的象牙可以直接测量，但是传统方案建议将象牙分离成胶原蛋白和矿物质成分。这样可以对碳和氧（生物磷灰石）、碳和氮（胶原蛋白）、氢和氧（胶原蛋白）以及硫（胶原蛋白）的同位素比率进行高精度测量。稳定同位素比率（R）将以 δ 表示法（ δ ）表示，单位为常规的每密耳（‰），其中 $\delta = [(R_{\text{sample}}/R_{\text{standard}}) - 1] \times 1000$ ，指样本和国际参考标准之间的差异，单位为千分之几。通过Valengula等人描述的已知由同位素组成的对照样本，确保质量控制[50]。为评估分析精度，每个样本应至少进行两次重复测量。同位素比率可使用专家意见或存储在象牙标识数据库中的空间参考数据，将来历不明的象牙样本分配到推测产地。这个基于网络的数据库在初始阶段将存储来自25个非洲象和6个亚洲象分布区大约600个经过验证的象牙参考样本。

放射性核素

应从象牙近端或牙髓腔边缘采集样本，估计死亡年份。使用传统的 ^{14}C （例如 ^{14}C ）方法大约需要10g象牙；而使用 ^{14}C 加速质谱（AMS）方法，需要两个总计约20mg原生象牙样本。

如果使用联合放射分析方法测定 $^{14}\text{C}/\text{C}$ 和 $^{90}\text{Sr}/\text{Ca}$ 以及 $^{228}\text{Th}/^{232}\text{Th}$ 的比活性，则至少需要10g象牙才能实现足够低的检测下限值。

放射分析方法包括灰化、放射化学分离和制备合适的检测样本。为实现非常低的检测限，分析方法必须尽可能高效且不受干扰。有必要首先分离和浓缩相关元素而不造成重大损失，并将其从可能的干扰放射性核素（如 ^{40}K 和 ^{137}Cs ）中纯化出来。应用不同的低水平核辐射探测方法确定相关的放射性核素活动。这些是检测 ^{14}C 的液体闪烁计数（LSC），通过气流计数器检测 ^{90}Sr 计数，以及通过硅表面阻挡结检测器检测放射性核素 ^{228}Th 和 ^{232}Th 的 α 光谱测定法。为满足资质要求，除训练有素的工作人员和低水平核检测设备之外，还必须提供一个设备齐全的放射性分析实验室[33, 37]。

14.6 能力测试或一致性研究

进行法医学分析的实验室属于能力验证计划的一部分。是实验室质量管理体系不可或缺的一部分，也是一项认证要求。能力测试有助于发现分析问题，支持实验室努力提高其分析结果的质量。实验室对已知或未知来源样本进行测试，并将结果返回给管理员，确定是否获得了正确结果。有许多能力测试可供选择。

线上销售 象牙的发现 与鉴定

作者: *Giavanna Grein*和*Crawford Allan*



通过网络平台销售的象牙和象牙仿制品越来越多（以下简称平台），如电子商务网站、搜索引擎和社交媒体应用。和可以仔细检查的实物不同，在线描述的物品无法亲自观察和检查，因此通过这些平台进行象牙鉴定更具挑战性。由在线卖家或销售商提供的信息（例如描述和图像）通常可能不足以确定一个产品是不是由象牙制成或含有象牙成分。但在在线监测中，需要从其他象牙和已知替代品或仿制品中寻找一些关键指标，进行鉴定。值得注意的是，并非所有指标都能证实真实性，而只是有助于收集证据，确定产品页是否值得进一步采取行动。

主要指标：显示史垂格线

正如在简介及大象和猛犸象部分所述，史垂格线是大象和猛犸象象牙特有的物理属性。分辨率足够高且产品角度适当时，可以在在线图像中看到。点击产品图像进行放大，并使用缩放功能（如果平台上有）仔细观察横截面和圆形边缘，可发现史垂格线。了解相关示例，请查看本指南第18页。如果产品图像中可见史垂格线，则该制品很可能是真的大象或猛犸象象牙。

次要指标：

语言——搜索词线索

“象牙”产品页

尽管平台禁止此类产品，一些卖家会把产品列名为象牙或大象象牙。有些产品声称由骨头或塑料等替代品制成，也可能是真的。如果产品页说明该产品是象牙，并不能确认真实性；但也许值得审查。

关键搜索词

由于对线上交易大象象牙产品的限制越来越多，卖家会使用商品的文本说明误导平台自动检测过滤器。文字说明可能是平台的相关语言，也可能是其他语言，仍然会吸引到懂行的或意识到可能是真象牙的购买者。例如，产品页不会把象牙列为大象制品，而是在广告中宣称产品由骨头制成，来自非洲哺乳动物。卖家的文字性欺骗通常分为以下几类，但随着自动过滤器对已知搜索词的过滤，他们的变通方法也在不断演变：

- **年代：**大象象牙贸易监管的最初依据是1975年的CITES，亚洲象被列入附录一，随后在1977年，非洲象被列入附录二。1990年，国际商业贸易禁令生效，当时非洲象被列入附录一（随后在1997年，博茨瓦纳、纳米

比亚、南非和津巴布韦种群被列入附录二)。卖家可能会试图表明他们提供的象牙年代足够久远,可以合法交易,不违反此类规定。声称*公约前*的象牙可能是1975年之前收集的象牙,声称*禁令前*的象牙可能是1990年之前收集的非洲象象牙。卖家还可能会将产品列为*古董*,尽管古董象牙的定义取决于交易国的规定(例如,“超过100年”)。常见的广告是涉及一个时代,例如,*维多利亚时代、20世纪30年代、禁令前、公约前*。表面上几乎无法确定产品是否来自在线卖家所指的时间段。在极少数情况下,卖家会附上评估报告或官方文件副本,如CITES许可证或销售证书。但是,如果需要检查核实在线交易和原始文件,提供此类文件方面存在许多潜在漏洞。**示例关键词包括:古董,禁令前,公约前和复古。**

- **真实性:** 为规避平台法规,卖家可能会加上一些文字,表明该产品不是象牙制品,而是一种已知的替代品或仿制品,前提是买家能够从产品页中的其他线索中识别出真实产品。**示例关键词包括:人造、象牙色和象牙仿制品。**
- **稀有性:** 卖家可能会试图证明某种产品的稀有性,表明

是正宗的大象象牙,而非所列的象牙替代品。在这种情况下,卖家可能不会提及材质,只会说明产品很稀有。**示例关键词包括(后接骨骼等替代材料):绝版、稀有和独一无二。**

- **替代品:** 卖家可能会声称出售的象牙是另一种合法材料。可以是海象等替代性天然象牙,也可以是塑料等已知替代材料。**示例关键词包括:骨头、树脂和植物象牙(如塔瓜坚果)。**
- **交叉纹理:** 一些卖家可能不会明确列出产品属于大象象牙,但暗示存在史垂格线。**示例关键词包括:交叉纹理、天然纹理和各个角度放大。**
- **热针测试:** 如果卖家标注产品通过**热针测试**,则表明该产品属于象牙等天然材料。把针加热按压到人造材料(如树脂),针会熔化并散发出燃烧塑料的气味,并沉入产品表面。

- **加工和产品:** 某些卖家关键词会提及产品的生产过程 (如 *手工雕刻*) 或通常以象牙制作的最终产品本身 (如 *日本牙雕*、*根付*)。
- **发送私信:** 卖家可能会要求买家发送私信了解产品定价和交易详情。原因可能是该产品是正宗大象象牙, 禁止平台交易。
- **使用表情:** 虽然到目前为止还没有进行彻底调查, 但在社交媒体上已经发现了使用表情符号替代文字描述活体动物和动物制品的情况, 需要作进一步调查。

值得注意的是, 这些主题搜索词语的出现可能表明卖家试图在不触发平台违禁物品过滤器的情况下宣传真象牙, 但并不能验证这些产品的真实性。同时也有很多欺诈性说法, 声称假冒产品是正宗产品, 或者卖家自己可能无法确切知道其销售产品的材质。

图片线索

卖家正在逐渐减少象牙产品页的文字说明, 主要依靠图片向买家传达产品的真实性。方法可能是上传清晰显示史垂格线的图像角度, 拍摄带有标签的产品, 或者在图像中标注象牙并包含原产国 (例如, 戒指盒或包中的象牙首饰), 或在标尺上张贴大象象牙图片, 表明该产品比塑料等替代产品密度更大。此类图片线索和相关在线广告语言的示例见下表。

请注意, 图片和文本从真实产品页中直接提取。

表11: 线上大象象牙制品列表 来源: 2017年国际野生生物贸易研究²

图片来自平台广告



广告语言

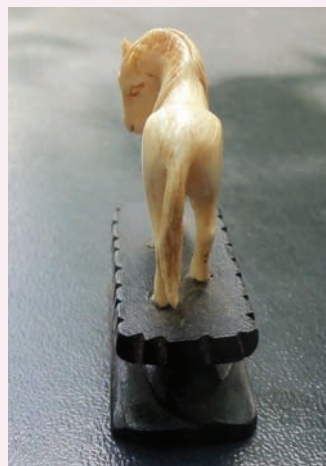
“复古~雕花中国风骨制手镯~象牙色~同包装袋~香港EUC可爱复古象牙色雕花手镯。我认为这是中国骨头.....但并不能是100%确定。成色非常好~配粉红色包装袋。内径约为2 5/8英寸, 外径略大于3.25英寸。请查看所有照片, 如有任何问题, 请与我联系。感谢查看”

为什么可疑? 产品图像包含“象牙”一词, 而卖家将产品列为象牙色骨头。

²Kramer, R., Sawyer, R., Amato, S. and LaFontaine, P. (2017). 美国大象象牙市场: 行业新基准。国际野生生物贸易研究组织华盛顿特区

图片来自平台广告

广告语言



“复古亚洲手工雕刻象牙色木质底座骏马雕像。请放大描述中的所有图片。非常详细。空口无凭，请查看照片，了解更多详情。”

为什么可疑? 图片中可以看到史垂格线，卖家会要求买家放大描述中的所有图片作为暗示。

图片来自平台广告

广告语言



“中心旋转式圆形象牙吊坠——1966年香港。您正在竞拍一个禁令前(1989年)精雕象牙圆形吊坠，直径2.5英寸。外环为龙雕，内环为刻有汉字的圆盘。圆盘实际由大号挂件雕刻而成，能让吊坠转动或旋转而不会脱落。(可以看到转动方式，但请查看照片)吊坠上的交叉纹理不太明显，但走向微妙。浮雕饰物由泪滴形金环固定。独具特色，反映象牙雕刻数十年演变史。”

为什么可疑? 卖家将该产品列为禁令前的大象象牙，并史垂格线称为“交叉纹理”。



“中国古董雕刻筷子：向大家推荐一双刻有老虎和诗歌的中国古董筷子，成色非常好。没有裂纹和断裂。请查看照片。”

为什么可疑? 卖家表示，进一步检查图片可以看到史垂格线，图像放大后就可以看到。



“早期.....手工雕刻精致手镯.....战前起源，盒装.....表面J19420世纪30年代复古产品。材质：纯银、象牙、漆器。早期.....手工雕刻精致手镯。Makino Brothers.....稀有”

为什么可疑? 材质中列出象牙，卖家表明产品的稀有性。



“这条漂亮的20世纪30/40年代牛骨项链是一件艺术品。长胡子老人手拿手杖与后脑勺相连。他的和服正反面都有绿色图案，脚上还有签名。我不确定年龄，但是珠子(0.34英寸)也是骨头，穿在每个珠子之间打结。这一点可以反映出年代。吊坠配件看起来像金子(板?)，没有污点。项链长18英寸的。是一件成色很棒的作品，非常漂亮。”

为什么可疑? 图片中显示史垂格线。此外，吊坠通常是用象牙雕成的，值得进一步调查。

图片来自平台广告

广告语言



“象牙，仿古董盐和胡椒罐。20世纪40年代年代的古董。几乎无磨损……见图片……”

为什么可疑？描述中列出了象牙，并给出了显示史垂格线的图片参考。

运输限制

运输限制并不是一项真实性指标，但如果卖方限制产品跨越国界和/或相关国家和地区以下边境（如一个国家和地区内的州或省）运输，可能是因为产品属于象牙制品，不符合CITES规定的国际合法商业运输要求/区域和国家和地区法律规定的跨境运输要求。

价格

产品价格在过去是一项更可靠的指标，可以在线上区分真正的象牙和塑料等其他材料。然而，随着全球对象牙交易监管力度的加大，以及可能不知道所售产品价值的卖方市场规模扩大，线上象

牙价格不如象牙监管政策出台之前稳定。但如果对比类似产品，价格可能是一项有用的指标。例如，一件300美元的吊坠比一件20美元的类似商品更有可能是真象牙。

结论

由于无法近距离检查、获取图片的途径有限、照片像素较低、文字描述模糊或有限以及卖家数据匿名化的能力，线上鉴别真大象象牙产品颇具挑战。有必要利用本指南形态部分的内容，根据产品页附带的图片做出判断，并在图片本身不能提供足够信息的情况下，权衡从次要指标收集到的信息，确定象牙的真实性。如需更多信息和帮助，请登录 (<https://www.cites.org/cms/index.php/component/cpl/>)，联系您所在国家和地区的CITES机构。

