

大熊猫臼齿釉质的超微结构和氨基酸组成

赵 资 奎

(中国科学院古脊椎动物与古人类研究所)

王将克 洪华华 钟月明

(中山大学地质系)

关键词 大熊猫 釉质 超微结构 氨基酸

内 容 提 要

大熊猫臼齿釉质的超微结构特征主要是施氏明暗带的宽度一般由8—15条釉柱组成;釉柱的横切面一般呈六角形或四角形,由里向外,釉柱的直径逐渐增大。在靠近釉牙本质界处,釉柱数量逐渐减少,有时甚至完全缺失,形成无釉柱结构的釉质。

大熊猫臼齿釉质的氨基酸组成主要以甘氨酸,丙氨酸,谷氨酸,天冬氨酸和亮氨酸的含量为最高,而蛋氨酸,胱氨酸和酪氨酸的含量为最低。另外,还含有少量的羟脯氨酸。这种组成模式一般与人类和其它哺乳动物牙齿釉质的氨基酸组成相类似。

一、前 言

我国的大熊猫是世界稀有的、珍贵的大型哺乳动物。在地史上,大熊猫又是组成我国著名的南方第四纪动物群,即大熊猫-剑齿象动物群的主要成员,是划分我国南方第四纪不同时期的洞穴堆积的标准化石。因此在学术研究上,不论是现生的或化石的大熊猫,都受到人们极大的重视。一百余年来,有关大熊猫的研究主要包括形态解剖,分类地位,演化历史,生态适应以及地史上的分布等方面的问题。

最近20年来,随着扫描电子显微镜及生物化学分析技术在古生物学中的应用,开创了一些新的研究领域。因此应用上述新的技术方法研究大熊猫牙齿的结构和有机成分的某些性质可能有一定的价值,本文就是基于这样的目的来研究化石大熊猫牙齿釉质的超微结构和氨基酸组成的。

二、材料和方法

本文研究的材料有:

(1) 大熊猫巴氏亚种 (*Ailuropoda melanoleuca baconi* Woodward), 选自中山大学地质系在广东省肇庆七星岩采集的下臼齿标本和中国科学院古脊椎动物与古人类研究所收藏的来自广西的下第一臼齿化石。时代为更新世中、晚期。

(2) 现代大熊猫 (*Ailuropoda melanoleuca* David), 由中山大学生物系脊椎动物学教研

室副主任邓巨燮同志提供的下第二臼齿标本。

大熊猫牙齿釉质超微结构的研究是先将上述标本清洗干净,用自凝塑胶包埋,然后按不同方位(横向和纵向)将标本切割成小块。切面磨平,抛光,清洗干净,在实体显微镜下检查至无机械擦痕为止。用 0.1N 盐酸蚀刻标本抛光面约 80—120 秒钟,再清洗干净,烘干后用黄金喷镀(约 300 埃),在“日立-450”型扫描电子显微镜(10—20kV 加速电压)进行观察。

关于大熊猫牙齿釉质化石的氨基酸组成研究是用机械方法将牙齿化石标本的牙本质和其它见得到的杂质完全除去,剩下来的牙齿釉质用 0.01N 盐酸在超声波清洗槽中清洗 20 分钟,再用二次蒸馏水清洗数次,低温烘干,研成粉末。

分析氨基酸时,先称取上述经过处理干净的大熊猫牙齿釉质化石粉末 1.0 克,用 6N 盐酸溶解后,置于 60°C 恒温水浴上蒸干,再加入 6N 盐酸(7 毫升/克干样),然后密封于硬质玻璃管中,在 110°C 恒温干燥箱中加热 24 小时,使其水解。

水解后的样品液置于 60°C 恒温水浴上蒸发,除去过量的盐酸,再加入二次蒸馏水洗涤,直至有沉淀物析出。离心分离去掉残渣,清液调至 pH = 2,在强酸性阳离子交换树脂柱(732 型)上脱盐,并用 2N NH₄OH 溶液洗脱被吸附在交换树脂柱上的氨基酸。接着,将洗脱液放在 60°C 恒温水浴上蒸发除 NH₃,最后定容为 1 毫升,调至 pH = 2,即得氨基酸提取液,用“日立-835”型氨基酸自动分析仪测定样品液中各种氨基酸的含量。

此外,为了检验大熊猫牙齿釉质是否有羟脯氨酸的存在,我们先用标准样品来确定它在洗脱图谱上的位置,然后再作另一次测定。

三、结果与讨论

(一) 关于大熊猫臼齿釉质的超微结构

大熊猫臼齿的构造基本上属杂食动物的结节齿型或丘突状型。臼面特别宽大,有大小不同的结节形齿尖,齿冠全表面覆盖着釉质层,其结构特征如下:

1. 大熊猫巴氏亚种 (*Ailuropoda melanoleuca baconi*)

釉质在牙冠的不同部位厚度不一,牙尖部的釉质最厚,约 2.4 毫米,向牙颈部逐渐变薄。像其它的哺乳动物一样,大熊猫臼齿釉质主要由釉柱和柱间质组成,釉柱呈细长柱形。从牙冠部的纵切面和横切面的观察中,可以看出釉柱排列的一般方向,它们从釉牙本质界起始,向釉质外表面略呈放射状排列,约与釉牙本质界及釉质外表面垂直。在靠近牙颈部的釉柱,则常向根尖方向倾斜或近似水平的方向。

在釉质的纵切面中(图版 1),一般可以见到,大约在近釉质外表面的 1/4 处,釉柱的切面常成纵切或斜切,表明这些部位的釉柱近乎直线的平行排列。向内至釉牙本质界,釉柱的排列在不同的部位有一定的变异。在咬合面处,釉柱在低倍放大的情况下,一般呈鳞状或不规则形状的横切面;在牙齿侧面,则表现出由纵切面和斜切面组成的釉柱群以及由呈鳞状的横切面组成的釉柱群有规则的相间排列,但宽度不一,从釉牙本质界处向釉质外

表面伸展。这种排列特征在人牙及其它的哺乳动物牙齿釉质的纵磨片中也可以见到,称为施氏明暗带(Hunter-Schreger bands)。大熊猫臼齿釉质的施氏明暗带宽度一般由8—15条釉柱组成。根据 Koenigswald (1982) 提供的资料,大多数哺乳动物的牙齿釉质中,施氏明暗带的宽度一般由4—10条釉柱组成。然而在某些类群中,例如猛犸象臼齿釉质的施氏明暗带宽度大约由70条釉柱组成,但是在旅鼠(lemming)的牙釉中,施氏明暗带则只由单个釉柱组成。这种差别可能和牙齿釉质的厚度有关。

大熊猫臼齿釉质施氏明暗带在牙齿侧面比较明显,在牙尖区或咬合面的脊部,釉柱主要呈现为不规则形状的横切面,说明这些部位釉柱的排列方式主要为互相扭转绞绕或交叉。这种排列特征可以增加釉质坚硬强度,从而减少釉质折裂的机会和增强釉质对抗咀嚼压力的能力。

在大熊猫臼齿釉质的横切面中,不同部位釉柱的切面形状和大小也表现出有不同程度的变化。

在表层釉质中,釉柱的横切面形状呈现出较大的不规则性,但总的说来,一般呈近似六角形,并且往往具有一不很明显的“尾部”翼突(图版 II, 1、2)。釉柱切面直径在5—9微米之间,每个釉柱中的微晶晶体长轴与釉柱长轴互相平行。釉柱之间充满着柱间质,在靠近釉质的外表面处,柱间质比较发育,越向内部,釉柱排列更加紧密,柱间区不很明显。根据 Boyde 关于哺乳动物牙齿釉柱形态的分类(Boyde, 1964, 1965, 1969, 1971),这些部位釉柱排列的特征基本上属于第 III 型。

在弱酸的作用下,这些部位的釉柱外周和相邻的柱间质最先被溶解掉,因此形成了较明显的间隙。此外,釉柱的中心区也容易被浸蚀而形成浅凹。

大熊猫臼齿深层釉质的釉柱横切面一般呈四角形或近乎圆形,比较规则(图版 II-3)。直径大约在3—5微米之间,比表层釉质的略小。它们的排列特征同样相当于 Boyde 分类的第 III 型。越靠近釉牙本质界,柱间质越来越发育,而单位面积内釉柱数量逐渐减少,釉柱的横切面一般近乎圆形。尤其值得注意的是在靠近釉牙本质界处,存在着一薄层典型的无釉柱(Rodless)结构的釉质,厚度大约3—5微米。

根据已报道的资料,人类,啮齿类的牙齿釉质和某些象类臼齿齿板釉质在最靠近外表面和最靠近釉牙本质界处,都见有无釉柱结构的釉质区(Takuma, 1969; Takuma 等, 1980)。但是在本文研究的大熊猫臼齿釉质中,无釉柱结构釉质区只见于最靠近釉牙本质界处,而在外表面处并未见到。

关于釉质的这种结构变化的原因,目前尚不清楚。不过如果从釉质形成的过程来看,釉柱是由成釉细胞所产生的牙釉突(即 Tomes 氏突)经过一系列复杂变化之后形成的。因此,也许有理由可以认为,大熊猫臼齿釉质在最靠近釉牙本质界处存在着无釉柱结构,很可能是在其釉质形成的早期阶段缺乏牙釉突的结果。

在弱酸的作用下,深层釉质中釉柱的中心区有较高的抗酸能力,而釉柱的外周和相邻的柱间质则容易被溶解掉,形成了较大的柱间隙(400—600毫微米)。

根据上述的观察结果,可以看出,大熊猫臼齿釉质的超微结构特征如下:

- (1) 施氏明暗带在牙齿侧面比较明显,其宽度一般由8—15条釉柱组成。
- (2) 釉柱的横切面一般呈六角形或四角形,由里向外,釉柱的直径逐渐增大,其特征

表 1

	釉柱大小(微米)		横切面形状
	长 径	短 径	
表层釉质	7—9	5—7	六角形或不规则形
深层釉质	4—5	3—5	四角形或近乎圆形

如表 1 所示。

(3) 在靠近釉牙本质界处,釉柱数量逐渐减少,有时甚至完全缺失,形成无釉柱结构的釉质。

此外,还必需注意的是大熊猫臼齿釉质的不同部位有不同的耐酸性质。在表层釉质中,柱间区和釉柱中心区耐酸能力较弱,容易受到浸蚀,但在深层的釉质中,酸的作用在釉柱间区进行较快,结果是柱间区被溶解并蚀及釉柱周围边缘。

根据现有的资料,酸对釉质的浸蚀作用可以分为两种形态:一是釉柱间区容易受酸的浸蚀(Scott 等, 1974; Silverstene 等, 1969; Tyler, 1976),另一种形态是这种作用主要发生于釉柱的中心区(Mortimer 等, 1971; Scott 等, 1974; Tyler, 1976; Zuniga 等, 1970)。然而,在本研究中,大熊猫臼齿深层釉质的耐酸能力和上述的第一种形态相似,但在表层的釉质中,其耐酸性质似乎是上述两种形态的混合形式。

不同部位的釉质结构有不同的耐酸性质,这和牙齿龋病的发生也许有一定的关系。根据王将克(1961)的研究,我国南方化石大熊猫个体龋齿患病率占 25%,患牙数占牙总数的 10.8%,说明第四纪大熊猫牙齿龋病率是相当高的。因此,进一步研究大熊猫牙齿釉质的超微结构特征及其耐酸性质,那么,对于探讨大熊猫牙病如龋齿的发病病因可能有一定的价值。

2. 现代大熊猫 (*Ailuropoda melanoleuca*) (图版 II, 4)

现代大熊猫臼齿釉质的超微结构特征如表 2 所示。釉柱的横切面一般呈六角形或四角形,基本上和大熊猫巴氏亚种的相似,但是柱间质一般比较发育。釉柱一般的排列特征同样相当于 Boyde 分类的第 III 型。

表 2

	釉柱大小(微米)		横切面形状
	长 径	短 径	
表层釉质	5—7	4—6	六角形
深层釉质	4—5	3—4	四角形

(二) 关于大熊猫臼齿釉质的氨基酸组成

大熊猫巴氏亚种 (*Ailuropoda melanoleuca baconi*) 臼齿釉质的氨基酸含量分布的研

表 3 牙齿釉质化石的氨基酸含量(克分子%)
Amino-acid content of fossil teeth enamel (Mole per cent)

氨基酸种类	大熊猫巴氏亚种	乳 齿 象 ¹⁾
羟脯氨酸 (Hypro)	0.78	2.5
天冬氨酸 (Asp)	7.18	7.8
苏氨酸 (Thr)	3.69	3.5
丝氨酸 (Ser)	4.90	10.5
谷氨酸 (Glu)	10.65	11.7
脯氨酸 (Pro)	5.87	4.9
甘氨酸 (Gly)	27.89	20.6
丙氨酸 (Ala)	11.60	8.1
胱氨酸 (Cys)	0.56	0.4
缬氨酸 (Val)	5.98	5.0
蛋氨酸 (Met)	0.14	1.0
异亮氨酸 (Ile)	2.14	3.5
亮氨酸 (Leu)	6.55	7.5
酪氨酸 (Tyr)	0.04	2.4
苯丙氨酸 (Phe)	2.56	2.8
赖氨酸 (Lys)	4.21	3.0
组氨酸 (His)	?	0.5
精氨酸 (Arg)	3.98	4.4

1) 根据 Doberenz 等(1969)的资料。

究,其结果见表 3 所列出的数据,同时在表中也列出了 Doberenz 等(1969)分析的乳齿象牙牙齿釉质氨基酸组成的资料,作为比较。

首先,必需指出的是釉质乃是哺乳动物体中最为坚硬和高度钙化的组织,其中所含的有机物极少。因此在早期的研究中,人们往往以为釉质完全是由无机物组成的。直到本世纪 20 年代,才认识到釉质中除了以无机盐为主要成分外,还含有极少量的有机物。但是,只有在近 20 年来,由于研究方法的改进,对釉质中有机物(主要是蛋白质)的性质才有了更多的了解。根据现有的资料来看,有关釉质中蛋白质的性质和氨基酸组成的研究主要集中于人牙方面,至于化石方面的材料,除 Doberenz 等(1969)分析过乳齿象牙牙齿釉质的氨基酸含量外,至今还未见有其它报道。

从牙齿的胚胎发育来看,釉质是由外胚层发展而来的,其中所含的有机成分主要是一种类似于角蛋白的蛋白质;然而牙本质则是来源于中胚层,它的有机成分主要为胶原结构,两者的氨基酸组成模式显著的不同。由于现代大熊猫的牙齿釉质和牙本质紧密相联,目前还没有一个比较简便和可靠的方法能够把它和牙本质完全分离开来,因此,不可避免地会严重干扰分析的结果。相反地,用一般的机械方法就能够比较容易地把化石大熊猫的牙齿釉质和牙本质完全分离开来。鉴于这个原因,本文只分析了大熊猫巴氏亚种的臼齿釉质的氨基酸组成。

从表 3 中所列出的各项氨基酸数值可以看出,大熊猫巴氏亚种臼齿釉质的氨基酸组成中甘氨酸,丙氨酸,谷氨酸,天冬氨酸和亮氨酸的含量都相当高,其次是缬氨酸,脯氨酸,丝氨酸,赖氨酸,精氨酸,苏氨酸等,而蛋氨酸,胱氨酸和酪氨酸的含量都很低。组氨酸可

能有极微量的存在,但在分析过程中,由于相邻的氨峰太大,而把组氨酸的波峰掩盖了。此外,值得注意的是还有少量的羟脯氨酸存在,约占 0.78。

可以认为,上述的各种氨基酸数据,可能不一定反映了原来的状况。尽管大熊猫牙齿釉质非常坚硬致密,但由于石化作用以及其它方面的影响,某些不稳定的氨基酸如蛋氨酸,胱氨酸,苏氨酸和丝氨酸等肯定会受到破坏或发生变化,然而从上述分析的结果来看,这些不稳定的氨基酸保存下来的还是比较多的。虽然如此,我们关于大熊猫臼齿釉质的氨基酸分析结果,和已知的人类牙齿釉质、某些哺乳动物的牙齿釉质的氨基酸含量分布,尽管在某几点上显示出一定的差别,却具有一种基本的共同趋势,即以天冬氨酸,谷氨酸,甘氨酸,亮氨酸等为最丰富。这种特征和角蛋白的氨基酸组成有一定的相似性。但是由于釉质中胱氨酸的含量特别低,这种情况与角蛋白的正好相反,因此有人建议把它当作一种独特的蛋白质——釉质蛋白(Enamelin)(Eastoe, 1971)。在我们的标本中,胱氨酸的克分子百分比含量为 0.56,同样是比较低的,考虑到胱氨酸是一种不稳定的氨基酸,在石化过程中很容易受到破坏,即使用模型实验(Voss-Foucart 等, 1970)对这种损失进行计算,校正后的数值也肯定不会大于近似值。因此可以认为,我们分析的化石大熊猫臼齿釉质样品,在原始的状况下胱氨酸的含量同样是比较低的。

此外,值得指出的是大熊猫牙齿釉质中还有少量的羟脯氨酸存在。这种氨基酸在牙本质中含量相当高,是组成胶原蛋白的一种重要氨基酸,但在角蛋白中,这种氨基酸是不存在的。根据已发表的资料来看,在人牙和某些哺乳动物牙齿的釉质中,都发现含有少量的羟脯氨酸。这种分析结果,目前还无法肯定是否由于在实验过程中对样品的处理不够仔细因而受牙本质的污染,还是这种氨基酸的确存在于釉质的蛋白质中。

根据牛牙的釉质层上覆有一薄层白垩质(含有胶原基质)的事实, Glimcher 等(1964)在未萌出的人牙釉面上,用 EDTA 脱钙,也发现有一薄层类似的结构,因而认为釉质中发现有羟脯氨酸可能是釉质残存有白垩质的结果。但是这种结构是否存在,还需进一步用实验加以证实。

然而从我们的样品处理方法以及从 Doberenz 等(1969)报告的现代牛牙和乳齿象化石牙齿釉质的氨基酸分析方法来看,似乎可以肯定,所发现的羟脯氨酸不是牙本质污染的结果。因此,也许有理由可以认为大熊猫臼齿釉质中含有少量的羟脯氨酸。

(1983 年 9 月 23 日收稿)

参 考 文 献

- 王将克, 1961: 广西化石大熊猫牙齿龋病的观察。古脊椎动物与古人类, 4, 330—339。
 ——, 1974: 关于大熊猫种的划分, 地史分布及其演化历史的探讨。动物学报, 20(2), 191—201。
 吴新智, 赵资奎, 袁振新, 沈家瑜, 1962: 广西东北地区调查简报。古脊椎动物与古人类, 6(4), 408—413。
 裴文中, 1962: 广西柳州巨猿洞及其它山洞的第四纪哺乳动物。古脊椎动物与古人类, 6(3), 211—218。
 Boyde, A., 1964: The structure and development of mammalian enamel. Ph. D. Dissertation, University of London.
 ——, 1965: The structure of developing mammalian dental enamel. In Fearhead, R. W. and Stack, M. V. eds., *Tooth Enamel*, pp. 163—167, Bristol: Wright.
 ——, 1969: Electron microscopic observations relating to the nature and development of prism decussation in mammalian dental enamel. *Bull. Group. Int. Rech. Sc. Stomat.*, 12, 151—207.

- , 1971: Comparative histology of mammalian teeth. In Dahlberg, A. ed., *Dental Morphology and Evolution*, pp. 81—93, Chicago: University of Chicago Press.
- , 1973: Quantitative photogrammetric analysis and qualitative stereoscopic analysis of SEM images. *J. Microscopy*, **98**, 452—471.
- Boyde, A. and Howell, P. D. T., 1977: Taking, Presenting, and treating stereo data from the SEM. *SEM 1977*, **1**, 571—579.
- Doberenz, A. R., Miller, M. F. II, and Wyckoff, R. W. G., 1969: Fossil enamel protein. *Calc. Tissue Res.*, **3**, 93—95.
- Glimcher, M. J., Friberg, U. A. and Levine, P. T., 1964: Coronal cementum in bovine teeth. *J. Ultrastruct. Res.*, **10**, 76.
- Kamiya, H., 1981: On the alteration in the enamel of the molar teeth of Naumann's elephant (*Palaeoloxodon naumanni*). *Earth Science*, **35** (4), 198—203 (in Japanese).
- Koenigswald, W., 1982: Enamel structure in the molars of Avicolidae (Rodentia, Mammalia), a key to functional morphology and phylogeny. In Kurten, B. ed., *Teeth: Form, Function, and Evolution*. pp. 109—122, Columbia University Press, New York.
- Mortimer, K. V. and Tranter, T. C., 1971: A scanning electron microscope study of carious enamel. *Caries Res.*, **5**, 240—263.
- Scott, D. B., Simmelink, J. W. and Nygaard, V., 1974: Structural aspects of dental caries. *J. Dent. Res.*, **53**, 165—178.
- Sitverstone, L. M. and Poole, D. F. G., 1969: Histologic and ultrastructural features of remineralized caries enamel. *J. Dent. Res.*, **48**, 766—770.
- Takuma, S., 1969: Electron microscopy of the mineralization of human and rat enamel. In Araya, S. et al. eds., *Hard tissue research*, pp. 227—249, Ishiyaku Press, Tokyo (in Japanese).
- Takuma, S., Sasaki, T., Nakagawa, K. and Yanagisawa, T., 1980: Scanning electron microscopy of the enamel of a *Parelephas* molar. In Omori, M. and Watabe, N. eds., *The mechanisms of biomineralization in animals and plants*. pp. 241—247, *Proc. 3rd International Biomineralization Symposium*, Tokai University Press, Tokyo.
- Tyler, J. E., 1976: A scanning electron microscope study of factors influencing etch patterns of human enamel. *Arch. Oral Biol.*, **21**, 765—769.
- Voss-Foucart, M. F. and Gregoire, Ch., 1970: On biochemical and structural alterations in fossil and pyrolyzed modern mother of pearl. *Internationales Symposium über Biomineralisation, Mainz*, Abstr., s. 31.
- Wyckoff, R. W. G., 1972: The biochemistry of animal fossil. *Scientifica (Publishers) LTD*.
- Zuniga, M. A. and Quigley, M. B., 1970: Incipient carious enamel lesions studied by scanning electron microscopy. In "Scanning electron microscopy 1970, *Proc. 3rd annual SEM symposium*", pp. 209—216.

ULTRASTRUCTURE AND AMINO-ACID COMPOSITION OF THE ENAMEL OF *AILUROPODA* MOLAR

Zhao Zikui

(*Institute of Vertebrate Paleontology and Paleoanthropology, Academia Sinica*)

Wang Jiangke Hon Huahua Zhong Yueming

(*Department of Geology, Zhongshan University*)

Key words *Ailuropoda*; Enamel; Ultrastructure; Amino-acid

Abstract

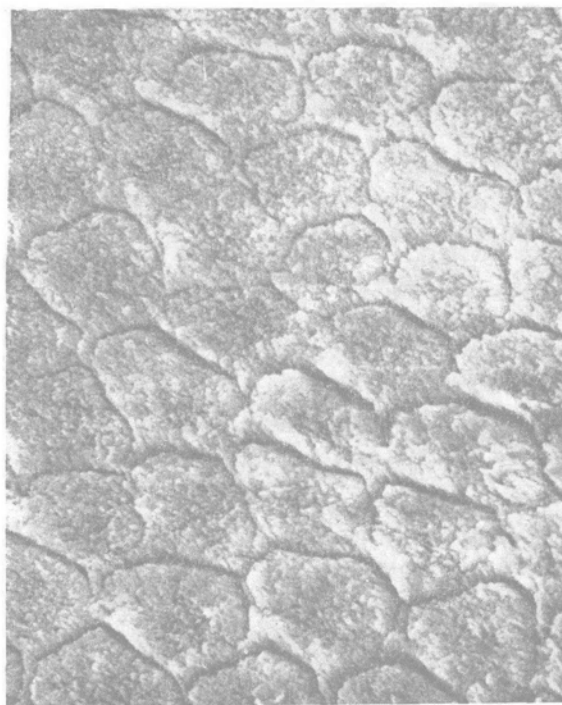
The ultrastructure and the amino-acid composition of the enamel of the molar teeth have been studied in fossil and/or living *Ailuropoda*. The methods used included scanning electron microscopy and automatic amino-acid analyser. The results obtained are as follows:

1. The Hunter-Schreger bands have a thickness in *Ailuropoda* molars of about 8—15 prisms. In cross-cut views, although the enamel prisms show some irregularity in shape, they reveal, in general, a "hexagonal-" or "quadrangular-shaped". It may represent a basic pattern of the enamel structure of *Ailuropoda*. Besides, in the zone closest to the enamel-dentin junction, prisms have decreased in number; and prisms are occasionally entirely missing, resulting in rodless or prismless enamel.

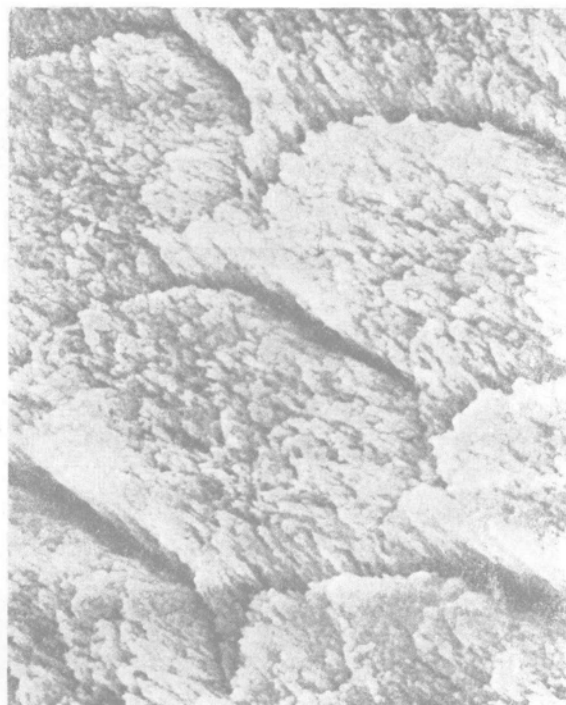
2. The amino-acid compositions of the enamel matrix of the Pleistocene *Ailuropoda* molar are characterized by a remarkable high content of glycine, alanine, glutamic acid, aspartic acid and leucine. However, it is of interest to note that there is a small proportion of hydroxyproline in enamel. Since hydroxyproline has been detected in enamel very carefully prepared in the present analysis so that contamination with dentine was almost certainly avoided, it seems reasonably certain that the enamel matrix contains a small proportion of this amino-acid.



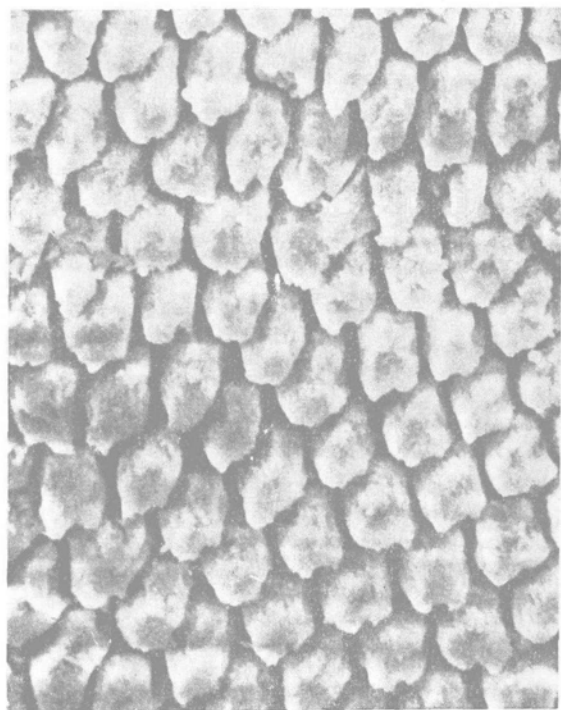
大熊猫巴氏亚种 (*Ailuropoda melanoleuca baconi*) 第二下臼齿釉质纵切面, $\times 220$
Part of a longitudinal section through a M₂ showing an appearance in the enamel known
as Hunter-Schreger bands



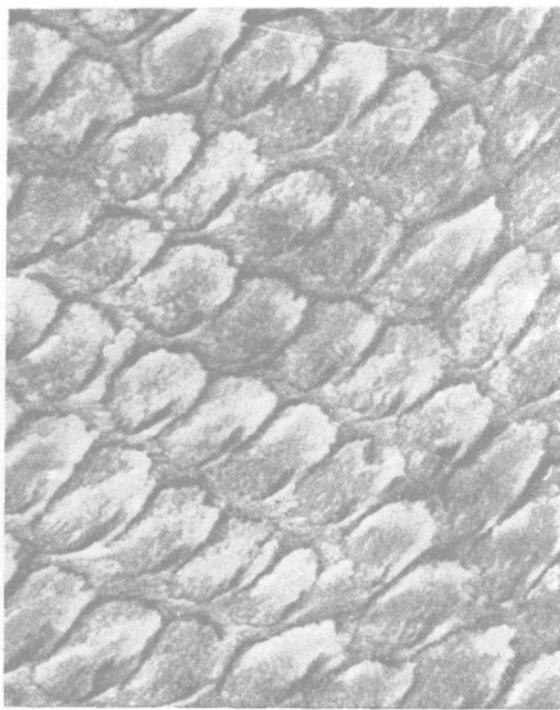
1



2



3



4

1.大熊猫巴氏亚种第一下臼齿表层釉质的釉柱横切面, $\times 2000$ Part of a transverse section of the enamel in the surface zone from *Ailuropoda melanoleuca baconi*; 2.图1的高倍放大, $\times 6000$ High magnification of Fig. 1; 3.大熊猫巴氏亚种第一下臼齿深层釉质的釉柱横切面, $\times 2000$ Part of a transverse section of the enamel in the deep zone from *Ailuropoda melanoleuca baconi*; 4.现代大熊猫第二下臼齿表层釉质的釉柱横切面, $\times 2000$ Part of a transverse section of the enamel in the surface zone from *Ailuropoda melanoleuca*