

察干鼠、始壮鼠门齿釉质结构的立体分析¹⁾

欧阳连

(中国科学院古脊椎与古人类研究所 北京 100044)

摘要 应用扫描电镜,观察阿尔泰察干鼠、始壮鼠门齿不同切面的釉质结构特征,通过分析得到下列结果。1. 同一门齿的不同部位,其釉质形态虽有不同的表现形式,但反映釉质结构模式的两个主要特征不变,如 HSB 宽度和内外釉质层厚度比稳定。因此应用这些特征时,可以在不定位取样条件下比较。2. 同一门齿的不同部位,内层 HSB 的倾斜度以及外层中放射状釉柱的倾斜度均有变化,变化范围可达 0° — 20° ,但是,在通过门齿中心的各不同纵切面上,上述两个特征是稳定的,因此应用这些特征时,取样的定位范围要明确通过门齿的中心。3. 同一门齿的不同部位,其釉质层厚度、釉柱截面直径大小、釉柱形态等有变化,有时随外形的变化很大,因此应用这些特征时须要定位比较。4. 阿尔泰察干鼠为典型的多系结构,始壮鼠为典型的单系结构。

关键词 啮齿类,釉质

中图法分类号 Q915.873

1 前言

自 1850 年 Tomes 关于啮齿类牙齿解剖学上的论著问世后,啮齿类的门齿和白齿的釉质结构引起了一些科研人员的注意,原因是应用光学显微镜观察其门齿的切片,可以发现釉质结构模式的不同。当扫描电镜问世后,由于放大倍数的极大提高,可以观察到构成牙齿釉质的基本单元——羟磷灰石结晶体(微晶)。因为不同类型的哺乳动物牙齿中微晶的空间分布不同,就有着不同的釉质结构,不同的釉质结构显然会具有不同的特征和不同的功能意义。近年来 Matin (1993)研究了 100 多个早期啮齿动物门齿的釉质结构,进一步证实了釉质结构的不同特征可在一些啮齿类中作为区分属一级的分类依据。最近王伴月教授研究了 Tsaganomyidae 的材料,根据其头骨和牙齿的形态,认为 Tsaganomyidae 至少包括三个属五个种(王伴月,口述),与前人曾描述过为五个属七个种的结论不同,与 Bryant 和 McKenna (1995)将上述的所有种属均归入到 *Tsaganomys altaicus* 的看法出入更大。从作者的工作来看,上述三属门齿的釉质结构的确存在区别。

1) 中国科学院古生物和古人类学学科基础研究特别支持基金资助(项目号:960701, 9708)。

收稿日期:1997-09-05

在作门齿切片的过程中,常常碰到的一个问题,其切片的材料比较零星、破碎。特别是啮齿类的牙齿比较小,对确定它们的切片位置和方向有一定困难,因此,对切片观察的结果的可靠性也存在疑虑,即是否同一牙齿不同部位的釉质结构完全相同?或者同一牙齿在不同方向上的切片釉质特征有何差异?由于 *Tsaganomyidae* 的个体较大,门齿也大,便于在同一个牙齿上作不同部位和不同方向的切片来进行比较,进而可以了解牙齿的釉质结构的真实形态特征,以及它们在不同部位的变异情况,也可以了解同样的结构在不同方向的切片上表现的不同形式或差异。在这样全面考察的基础上,才可以确定比较牙齿釉质特征的最佳部位。当样品保存不完全时,可以根据其它方位的切片来判断牙齿的真正的釉质结构形式。为此,用察干鼠二个门齿和始壮鼠一个门齿做了下面不同切面的釉质结构分析。这一工作的目的,除了尽可能使其立体分析方法规范一些外,还可以提供可资借鉴的范例。

2 材料与方 法

2.1 材 料

- 1) 阿尔泰察干鼠 (*Tsaganomys altaicus*) 门齿, 中一晚渐新世。
- 2) 始壮鼠 (*Eosischyromys*) 右下门齿, 中一晚始新世。
- 3) 洛圆柱鼠 (*Cyclomytus lohensis*) 门齿, 早一中渐新世。

2.2 方 法

描述釉质结构有下列主要几个要素:

- 1) 釉质形态、厚度。
- 2) 釉柱截面形态: 1 型; 2a、2b、2c 型; 或 3a、3b、3c 型。
- 3) 釉柱直径大小、釉柱密度、釉柱交叉和不交叉以及与牙本质交界面或与牙表面的倾斜度。
- 4) Hunter-Schreger-Bands (HSB), 称施氏明暗带。HSB 宽度(用釉柱根数计算), 倾斜度(指 HSB 与釉牙本质界垂线的交角), 明带或暗带内的釉柱走向, 釉柱形态及间质中微晶的分布和倾向。
- 5) 啮齿类门齿的釉质一般分内、外二层。内层由 HSB 组成, 外层釉柱为放射状。不同种类的啮齿动物, 内外层釉质的厚度不同。因此内外层釉质厚度比是门齿釉质的主要描述特征。

应用 JSM-6100 扫描电镜, 从 1—500 倍、500—2000 倍、2000—10000 倍三个不同量级分析。

3 对门齿横切面及不同部位的纵切面做切片观察比较

3.1 对察干鼠门齿的切片观察

3.1.1 对阿尔泰察干鼠门齿做横切面(图 1, A)

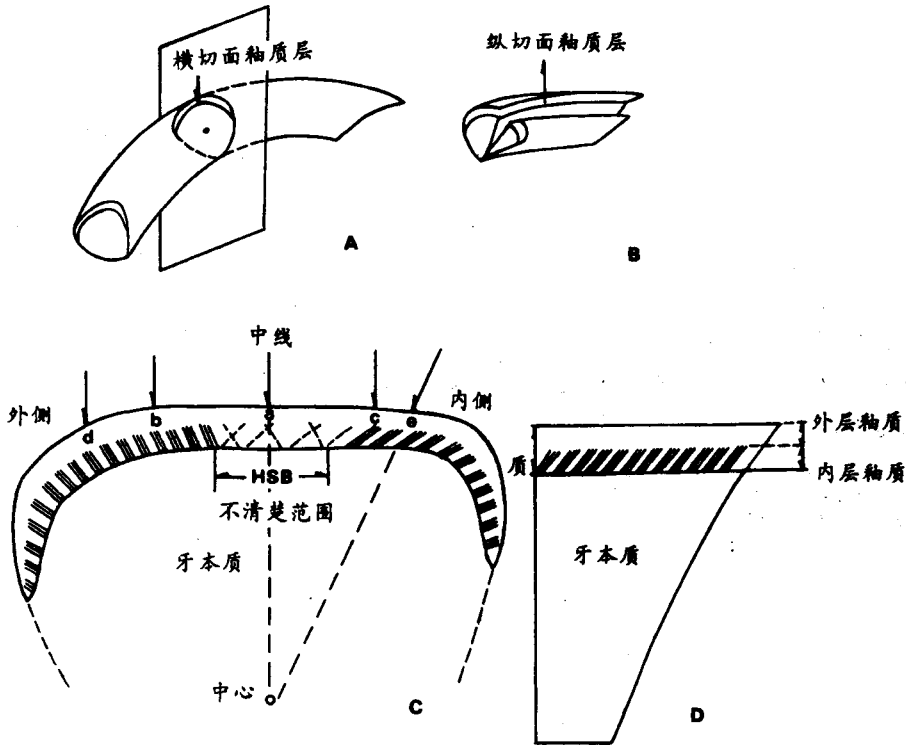


图 1 A, B 分别为察干鼠门齿的横切面和纵切面示意图
C 为察干鼠门齿横切面图解, D 为察干鼠门齿纵切面图解

Fig.1 A and B are graphs of the cross section and the longitudinal section of incisor of *Tsaganomys* respectively
C, The enamel in the cross section of incisor of *Tsaganomys*, D, The enamel in the longitudinal section of incisor of *Tsaganomys*

在横切面上显示着覆盖于门齿唇侧的釉质层形态,如图 1, C 所示。图中 a, b, c, d 各部位釉质结构形态不同,分别由图版 I, 1—4 所示。在中线 a 左右箭头区域内, HSB 的宽度、斜度、内外层界线混杂不清。在门齿的外侧 b 处和内侧 c 处,可以清楚地看到釉柱被纵切以及被横切形成的条带,每个条带中的釉柱走向和带的界线很清楚,因此在高倍镜下可以计算出 HSB 的宽度由 5—7 根釉柱组成,是典型的多系结构。在拐弯的 d 处,釉质形态与

表 1 阿尔泰察干鼠门齿横切面釉质结构特征

Table 1 The incisor enamel structure characters in cross sections of *Tsaganomys altaicus*

横切面釉质部位 position of cross section	釉质厚度 (μm) enamel thickness	HSB 宽度 (釉柱根数) the width of HSB (prisms)	HSB 倾斜度 Inclination of HSB (deg)	内、外层釉质厚度比 enamel thickness ratio between PI and PE	外层釉柱倾斜度 Inclination of PE prisms
a	171.4	无法确定	无法确定	无法确定	0°—5°
b	174.3	5—7	20°—30°	10:1	0°—10°
c	170.2	5—7	35°—45°	10:1	0°—10°
d	185.7	5—7	15°—30°	10:1	0°—15°

b, c 处完全不同, 似乎 HSB 变窄, 形成多条脊状的带, 但是在高倍镜下放大, 根据釉柱走向可以证明这个脊正是相邻两带的过度界线, 两脊之间的宽度也由 5—7 根釉柱组成。它与图版 I, 8 相似。在横切面上的其他特征, 如外层釉质很薄, 内、外层釉质厚度比各处一样, HSB 的倾斜度各处变化大, 并且在两侧的倾斜方向相反。分析数据见表 1。

3.1.2 对阿尔泰察干鼠作四个纵切面(图 1, B), 纵切位置如图 1, C 中的 a, b, c, d 箭头所示

a 箭头所示的纵切面是通过门齿唇侧中线与牙齿中心(轴心)的切面, 以这个纵切面的釉质层结构为标准, 比较 b, c, d 纵切面上的釉质层结构。因为纵切面上的釉质结构各处非常均匀, 所以每一个纵切面的釉质, 可以用一张照片就能反映整个结构面貌。图版 I 中 5、6、7 分别是 b, c, d 箭头处纵切面的釉质结构图形。

a 纵切面中(图版 II, 1), 内层 HSB 很厚, 并向咬合面方向倾斜, 倾角约 25° — 30° 。图内含有 8 条明暗带, 暗带内的釉柱几乎被横切, 在高倍放大时, 可见釉柱截面形态为不规则圆或椭圆形(图版 II, 2)。明带内的釉柱被斜切, 大部分的釉柱形态为柱状。由于明暗带中釉柱组的形态和走向不同, 可以看到相邻釉柱组的正交或交叉状态, 使得 HSB 的过渡界线很清楚。因此将明暗带高倍放大时, 可获得 HSB 宽度由 5—7 根釉柱组成。符合 Shelleis 和 Poole(1979)关于 multiserial(多系)结构模式的定义。又因明暗带内釉柱周围的间质不是均匀分布, 而是在同一个方向增厚的现象(图版 II, 3), 又符合 Matin(1993)关于 multiserial(多系)和 pauciserial(散系)区分的特征之一, 所以可以确定它是典型的多系结构。外层釉质似乎缺失, 但全面观察仍有很薄的一层, 釉柱几乎与外表面垂直形成放射状, 内外层釉质厚度比为 10:1 左右。

b, c, d 为不通过牙齿中心的纵切面, 它们的釉质形态(图版 I, 5—7)与 a 纵切面的釉质形态不同, 表现在 HSB 宽度似乎变窄, 明暗带增多, 倾斜度变化大, 变化范围在 10° — 30° 之间。但当图中的明暗带放大 1000 倍以上观察时, 如图版 I, 8 是 I, 6 的部分放大, 如果不加分析, 从形态上看图中明带的宽度是由两根釉柱组成, 那么它的 HSB 宽度为 2—5 根釉柱, 这样就会得到一个与 a 纵切面完全不同的釉质结构。但是只要分析明带两侧的暗带中釉柱的截面形态, 可发现在形态相同的釉柱内微晶的方向不同, 它们各自代表两侧釉柱的走向不同。这时再注意明带中釉柱的方向, 又可以发现明带的其中一条或两条与相邻暗带中釉柱的方向一致。因此图中的明带不是施氏带, 它是相邻两条暗带的界线。所以它们的 HSB 宽度是一条明带或二分之一明带加一条暗带的宽度组成。这样 b, c, d 在各个纵切面上同样可获得 HSB 宽度是 5—7 根釉柱。在放大的明暗带中也同样显示图版 II, 3 的多

表2 阿尔泰察干鼠门齿不同纵切面釉质结构特征

Table 2 The incisor enamel structure characters in different longitudinal sections of *Tsaganomys altaicus*

纵切面 longitudinal section	釉质厚度(μm) enamel thickness	HSB宽度(釉柱根数) the width of HSB (prisms)	HSB倾斜度 Inclination of HSB (deg)	内、外层釉质厚度比 enamel thickness ratio between PI and PE	外层釉柱倾斜度 Inclination of PE prisms
a	171.4	5—7	25° — 30°	10:1	0° — 5°
b	174.3	5—7	20° — 30°	10:1	0° — 5°
c	170.2	5—7	15° — 25°	10:1	0° — 10°
d	185.7	5—7	25° — 40°	10:1	0° — 10°

系结构特征,与 a 纵切面结果相同。其他特征的数据见表 2。

由表 1、表 2 中可见,各个不同切面上均可统计出 HSB 的宽度为 5—7 根釉柱。内、外釉质层厚度比为 10:1。这两个特征对同一个体的阿尔泰察干鼠门齿来说是不变的常数。作者曾经对另一察干鼠作通过门齿中心的不同纵切面比较,如图 1, C 中 e 箭头所示的纵切面,除釉质厚度有变化外,其它釉质特征与通过门齿唇侧中线和牙齿中心的纵切面完全一致。

3.2 对始壮鼠门齿的切片观察

3.2.1 对始壮鼠门齿作横切,如图版 III, 1 所示

此门齿在保存过程中已被压扁,有多处可看到破裂的痕迹,但釉质层保存完好。如将图版 III, 1 中各处釉质均放大 500 倍,可见釉质结构形态高度一致。釉质分内外两层,内外层釉质厚度比均为 2:3。内层釉质中排列成片状的釉柱几乎正交,外层釉柱被间质包裹形成网格状,网格内的釉柱互为平行,成为放射状,如图版 III, 6, 是单系结构。

3.2.2 对始壮鼠门齿作两个纵切面,纵切部位如图版 III, 1 中 a, b 箭头所示。其中 a 处的纵切面是通过唇侧中线经牙齿中心的切面,以它为标准比较 b 处的纵切面釉质结构。

a 纵切面釉质明显分内外两层(图版 III, 2)。内层 HSB 的宽度由一根釉柱组成,明带中釉柱被横切,呈不规则圆或椭圆形,暗带釉柱被纵切为柱状。相邻明暗带中的釉柱几乎直角相交,大部分明暗带垂直于釉牙本质界面,很少一部分以 10° 左右倾斜,倾斜方向指向咬合面。外层釉柱为放射状,倾斜度约为 45° , 内外层釉质厚度比为 2:3, 与横切面形态不同,结构一致。

b 纵切面的釉质形态与 a 纵切面的釉质形态不同,但结构一样。不同表现在内层 HSB 不是一条垂线,大多数变成 S 形,倾斜度增大,约 15° — 30° 。外层釉柱不是条状,而变成不规则圆形,如图版 II, 3。但是将内外层放大,如图版 III, 4, 5, 观察外层中的椭圆形釉柱,从它的微晶方向可以判断外层釉柱的倾斜角度增大,约 50° — 60° 。外层釉质中柱间质很厚,微晶方向垂直于表面。内层 HSB 中釉柱的形态多为不规则椭圆形。b 纵切面比 a 纵切面釉质层厚,但内外釉质层厚度比不变,也为 2:3, 分析数据见表 3。

表3 始壮鼠门齿纵切面釉质结构特征

Table 3 The incisor enamel structure characters in longitudinal sections of *Eosischyromys*

纵切面 longitudinal section	釉质厚度(μm) enamel thickness	HSB宽度(釉柱根数) the width of HSB (prisms)	HSB倾斜度 Inclination of HSB (deg)	内、外层釉质厚度比 enamel thickness ratio between PI and PE	外层釉柱倾斜度 Inclination of PE prisms
a	68	1	0° — 15°	2:3	40° — 45°
b	82	1	15° — 30°	2:3	50° — 60°

对始壮鼠门齿的各个切面观察, HSB 的宽度和内、外釉质层厚度比也是一个稳定的常数。

3.3 对查干鼠科中的洛圆柱鼠门齿的切片的观察比较

按上述方法,对查干鼠科的不同种属的门齿切片观察,发现它们虽都属多系,但釉质结构特征存在着明显的区别。比较结果如表 4 所示。

表4 察干鼠科(Tsaganomyidae)门齿釉质结构特征比较

Table 4 Comparison between characters of incisor enamel in Tsaganomyidae

类别 category	特征 character	釉质厚度(μm)	HSB宽度(釉柱根数)	HSB倾斜度	内、外层釉质厚度比	外层釉柱倾斜度
	enamel thickness	the width of HSB (prisms)	Inclination of HSB (deg)	enamel thickness ratio between PI and PE	Inclination of PE prisms	
洛圆柱鼠 <i>Cyclomytus lohensis</i>	76	3—5	30°—45°	5:3	30°—35°	
阿尔泰查干鼠 <i>Tsaganomys altaicus</i>	177.5	5—7	25°—30°	10:1	0°—5°	

从表4中,根据釉质层厚度,HSB宽度,内、外层釉质厚度比等三个特征,可以将洛圆柱鼠、阿尔泰查干鼠区分开来。

4 结语

对阿尔泰查干鼠和始壮鼠门齿作不同部位、不同方向的切片,在扫描电镜下,经过从低倍到高倍的综合分析,在同一牙齿的不同切片上,有些特征是稳定的,有些特征是随切面位置的不同而改变,并显示一定的规律性。比如:

1) 在各个不同切片上,放大350倍左右,根据HSB的组成形态,能初步判断,或定性分析出它们的釉质结构模式。如阿尔泰查干鼠样品置于镜下观察时,不同部位的切片均呈多系结构,而用始壮鼠样品观察时,则均呈单系结构。

2) 在放大350—2000倍以上时,可以清楚地看到釉柱的形态、走向以及釉柱和柱间质中微晶的分布和方向,可进一步确定它们的釉质结构模式,从而能分辨出明暗带中显示的假象,即不是结构带的假明暗带。因此可以准确获得HSB的宽度和内、外层釉质厚度比。通过对阿尔泰查干鼠和始壮鼠门齿不同切面的釉质结构比较,上述两个特征是一个稳定的常数。因此当牙齿是破碎零星状态时,在不定位条件下这两个特征的数据可获得同样的结果。所以,HSB的宽度和内、外层釉质厚度比的精确描述可用作啮齿类分类的重要标志。例如:阿尔泰察干鼠和洛圆柱鼠同属多系结构,但它们的HSB和内、外层釉质厚度比各不相同,再加上它们的釉质厚度也相差很大,如表4所示,因此,可以断定它们之间是有区别的。这一分析结果与王伴月教授根据它们头骨和牙齿形态的研究所获得的结论一致。

3) 在不同切片上,内层HSB的倾斜度和外层釉柱的倾斜度有变化,其范围可达0°—20°。因此,当牙齿破碎无法确定切片位置时,去做倾斜度的比较是没有意义的。

4) 釉质层厚度、釉柱截面形态和大小在同一个体的不同切面上,是有规律的改变。所以在描述HSB的倾斜度,内外层釉柱的倾斜度,釉质层厚度,釉柱截面形态和大小等这些特征时,必须要指出切面位置,不然,其结果混乱或不真实。

致谢 记述的材料由王伴月教授提供,并在写作过程中得到她的很多帮助;本文插图由杨明婉高工清绘,在此一并致谢。

参 考 文 献

- Bryant J D, McKenna M C, 1995. Cranial anatomy and phylogenetic position of *Tsaganomys altaicus* (Mammalia: Rodentia) from the Hsanda Gol Formation (Oligocene), Mongolia. *Am. Mus. Novit.*, 3156: 1—42
- Martin T, 1993. Early rodent incisor enamel evolution: phylogenetic implications. *J. Mammal. Evol.*, 1(4):227—245
- Shelleis R P, Poole D F G, 1979. The arrangement of prisms in the enamel of the Aye-Aye, USA. *Scanning Electron Microsc.*, 11: 497—506

MICROSTRUCTURE ANALYSIS IN *TSAGANOMYS ALTAICUS* AND *EOSISCLYROMYS* INCISOR ENAMEL

OUYANG Lian

(Institute of Vertebrate Paleontology and Paleoanthropology, Chinese Academy of Sciences Beijing 100044)

Key words rodents, enamel

Summary

Some sections of incisors of *Tsaganomys altaicus* and *Eosischlyromys* were taken in different positions and directions, and then were studied with SEM synthetically from low to high magnification. It is found that some characters are stable in different sections of the same incisor, while there are also some unstable characters, which change with the position of sections, and show a certain pattern. Such as:

1) When different sections are observed at the magnification of 350, their enamel microstructure can be decided basically or analyzed qualitatively through the structure of HSB. For example, the sections in different positions of incisors of *Tsaganomys altaicus* represent a multiseriate microstructure, while a uniseriate microstructure was observed in sections of incisors of *Eosischlyromys*.

2) When these sections are observed at the magnification of 350—2000, the shape and the direction of prisms as well as the distribution and direction of micro-crystal in prisms and IPM can be observed clearly. Their enamel microstructure is helpful in identifying the imagination of false HSB that is not structural band, so the width of HSB and enamel thickness ratio between PI and PE can be known precisely. By comparison between *Tsaganomys altaicus* and *Eosischlyromys* incisor enamel structure, it is observed that these two characters described above are stable constants. When an incisor is cracked, the results of these two characters are the same in uncertain positions. Therefore, a precise description of HSB width and enamel thickness ratio between PI and PE can be used as an important sign to classify the

types. For example, the microstructure of incisors of *Tsaganomys altaicus*, and *Cyclomytus lohensis* are all multiserial structure, but their HSB and enamel thickness ratios between PI and PE are different from each other (table 4), moreover, their enamel thickness has a significant difference, too. Thus they can be distinguished from each other. This result is coincident with that of Prof. Wang Banyue's (MS) study on their cranial and incisor morphology. She concluded that these three genera did not belong to one category.

3) The width of enamel, the inclination of HSB in PI and the inclination of prisms in PE and the shape and size of the intersection of prisms change with a certain pattern in different sections of the same incisor. The position of the sections should be determined before the description of the inclination of HSB, the inclination of prisms in PI and PE, the thickness of prisms, and the shape and size of the intersection of prisms, etc., otherwise the result may be incorrect.

图版说明 (Explanations of plates)

图版 I (Plate I)

1—4 分别为阿尔泰察干鼠门齿横切面如图 1c 中的 a—d 各部位的釉质结构图形 SEM micrograph of cross sections of *Tsaganomys altaicus* incisor enamel marked in fig. 1c with a—d respectively, $\times 220$

5—7 分别为阿尔泰察干鼠门齿如图 1c 中 b—d 箭头所示处的纵切面釉质结构图形 SEM micrograph of longitudinal sections of *Tsaganomys altaicus* incisor enamel marked in fig. 1c with b—d respectively, $\times 220$

8 为 6 中左下部分的放大, 阿尔泰察干鼠的 HSB 由 5—7 根釉柱组成, 为多系结构 SEM micrograph of a section in the left and nether part of graph 6, $\times 1000$. According to this graph, HSB of *Tsaganomys altaicus* consists of 5—7 prisms, showing a multiserial structure

图版 II (Plate II)

1. 阿尔泰察干鼠门齿图 1a 箭头处的纵切面釉质图形, 它是通过唇侧中线与牙齿中心的纵切面, 图中有 8 条 HSB. SEM micrograph of longitudinal section of *Tsaganomys altaicus* incisor enamel as marked with the arrow "a" in fig. 1, $\times 400$. It is a longitudinal section through the midline of labial and the center of the incisor. There are 8 HSBs in this graph

2. 上图部分放大 1000 倍, HSB 由 5—7 根釉柱组成 Magnified from the graph above by 1000, HSB consists of 5—7 prisms

3. HSB 中釉柱周围的间质分布不均匀, 这是多系结构的一个特征 The IPM in HSB is inhomogenous, $\times 1500$, which is a character of multiserial structure

图版 III (Plate III)

1. 始壮鼠门齿横切面 SEM micrograph of cross sections of *Eosischyromys incisor* enamel $\times 15$

2, 3 分别为始壮鼠门齿如上图 1 中 a, b 箭头所示纵切面釉质结构图形, 为单系结构 SEM micrographs of longitudinal sections of *Eosischyromys* incisor enamel marked in graph 1 above, with arrows "a" and "b" respectively, $\times 300$. It is a uniserial structure

4, 5 分别为上图 3 外层和内层的釉质放大 1300 倍 SEM micrographs of enamel of PI and PE shown in graph 3 above, $\times 1300$

6 为上图 1a 箭头处横切面釉质结构图形 SEM micrograph of section marked in graph 1 above with arrow "a", $\times 500$

