

青藏高原常见早熟禾亚科植硅体形态特征初步研究*

秦利^{1, 2, 3)} 李杰²⁾ 旺罗¹⁾ 吕厚远¹⁾

1) 中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029, inol@mail.iggcas.ac.cn;

2) 中国地质大学, 北京 100083;

3) 中国科学院研究生院, 北京 100039

提要 文章对采自青藏高原地区早熟禾亚科(Pooideae)常见的10属19种现代植物进行详细的植硅体形态描述、分类、统计、测量和对比。分析发现:青藏高原原生植物早熟禾亚科(Pooideae)特有的植硅体形态主要包括帽型、齿型、针茅哑铃型和针茅多铃型,同时发育塔型、棒型、尖型、刺球型等其它亚科常见的类型。初步明确了部分属一级的植硅体形态特点,例如,羊茅属(*Festuca*)、早熟禾属(*Poa*)等主要发育尖顶帽型;长芒草(*Stipa bungeana* Trin.)、赖草(*Leymus secalinus* (Georgi) Tzvel.)等主要发育平顶帽型;针茅属(*Stipa*)主要发育针茅哑铃型;早熟禾属(*Poa*)、三毛草属(*Trisetum*)同时发育较丰富的帽型和齿型。为进一步地深入研究该区草原植被群落的演替过程和规律提供了植硅体形态学分析的基础。

关键词 植硅体 早熟禾亚科 针茅 青藏高原

1 前言

植硅体(Phytolith)是高等植物通过从土壤中吸收可溶性二氧化硅并沉淀于植物细胞内或细胞壁之间而形成的具有不同形态特征的固体二氧化硅颗粒(Piperno, 1988),不同的植硅体形态具有潜在的植物分类学意义和环境指示意义。植物在死亡、腐烂或燃烧过程中,植硅体被释放、沉积在不同的沉积物中,并被长期保存下来(Piperno, 1988;王永吉、吕厚远, 1993),因此,研究地层或考古遗址中的植硅体组合在恢复古气候、古环境以及环境考古等领域具有重要作用(Piperno, 1988;吕厚远、王永吉, 1991;吕厚远等, 1996;吕厚远等, 1999),尤其近10年来植硅体分析被越来越多地用于重建古植被(刘东生等, 1994;黄翡、裴安平, 2001; Gallego *et al.*, 2004; Stromberg, 2004, 2005)和古气候、古环境变化研究(Gallego *et al.*, 2004; Alexandre *et al.*, 1997; Wang *et al.*, 2003; 吴乃琴等, 1994; Lu *et al.*, 1996; 顾延生等, 1997; 郑祥民等, 2002; 吉利明等, 2002; Puerto *et al.*, 2006; Pohl *et al.*, 2007)。对现代植物植硅

体进行详细的形态学研究及生态环境意义分析,是深刻理解地质记录中植硅体组合特征、以及准确恢复古植被古气候演变历史的基础,特别是在我国青藏高原地区,广泛分布着以早熟禾亚科中不同种属植物占优势的草地群落或草原类型,但迄今对该区典型早熟禾亚科植硅体形态学及生态学意义缺少系统的研究。

禾本科是青藏高原属种数较多的一个科,仅次于菊科,其中早熟禾亚科不同种属常常是形成不同草原群落的优势种或建群种(胡自治, 2000),不同草原(草地)群落的演替对环境变化非常敏感,由于禾本科属间花粉形态差异小,孢粉分析的方法受到限制,因此如何准确分析以禾本科为主的高原草原群落的变化过程和规律,一直是青藏高原古环境/古生态研究中的难题。随着植硅体形态学研究的深入,其分类学和生态学意义逐渐得到完善(Piperno, 1988; Brown, 1984; Mulholland and Rapp, 1992; Kondo *et al.*, 1994),在区分禾本科不同亚科甚至种属方面具有很好的潜力(吕厚远等, 1996a; Lu and Liu, 2003)。

本文通过对青藏高原地区早熟禾亚科的10属

收稿日期: 2007-09-28

*国家自然科学基金(Nos. 40771216, 40102029 和 40672110)和国家重点基础研究发展规划项目(No. 2005CB422002)联合资助。

19种现代植物植硅体进行详细的形态描述、分类、统计、测量和对比, 试图获取青藏高原早熟禾亚科不同属种的植硅体形态特征, 为分析以早熟禾亚科为主的高原草原群落的演化过程和规律、揭示区域性生态环境变化以及分析不同时间尺度的气候变化过程提供植硅体分析基础和参考资料。

2 材料与方法

本文所用的早熟禾亚科10属19种植物样品来自于中国科学院地质与地球物理研究所古生态学科组1999年8月至9月在青藏高原采集的现代植物

样品, 由中国科学院西北高原生物研究所进行植物鉴定。详细的植物名录见表。

此次研究使用的样品均采用湿式灰化法进行处理(王永吉等, 1994)。将植物样品洗净, 烘干, 剪成3—5mm长的小段, 放入15 ml小试管; 加浓硝酸使植物组织中的有机部分被充分氧化, 当样品不再呈粘稠状、溶液澄清时, 降温, 加蒸馏水离心(1500转/分)清洗至中性, 即得到离体的植硅体颗粒, 用中性树脂胶制成固定片。在Leica DMLB型显微镜的400和600倍明场和微分干涉条件进行观察、统计和显微照相。每个薄片统计400粒左右, 形态参数测量时, 每个形态类型的测量个数在30粒左右。

表 青藏高原早熟禾亚种植物样品情况
Summary of samples of Poideae from the Qinghai Tibetan Plateau

属名	种名	取样位置		植被类型	植物部位
		纬度 N	经度 E		
<i>Leymus</i> 赖草属	<i>Leymus secalinus</i> (Georgi) Tzvel. 赖草	36°47.009	99°04.798	草原	叶
<i>Poa</i> 早熟禾属	<i>Poa rossbergiana</i> Hao 青海早熟禾	36°47.009	99°04.798	草原	叶
	<i>Poa crymophila</i> Keng ex C. Ling 冷地早熟禾	30°23.092	90°55.611	灌丛	叶茎穗
<i>Stipa</i> 针茅属	<i>Stipa krylovii</i> Roshev. 西北针茅	29°49.929	91°44.538	灌丛	叶
	<i>Stipa purpurea</i> Griseb. var. <i>purpurea</i> 紫花针茅	36°47.115	99°40.113	草原	叶
	<i>Stipa capillacea</i> Keng 丝颖针茅	29°43.049	92°00.343	灌丛	叶
	<i>Stipa bungeana</i> Trin. 长芒草	38°15.816	101°52.428	草原	叶
<i>Roegneria</i> 鹅冠草属	<i>Roegneria parvigluma</i> Keng 小颖鹅观草	29°57.096	92°50.691	灌丛	叶
	<i>Roegneria tibetica</i> (Melderis) H. L. Yang 西藏鹅观草	27°30.008	88°55.777	森林	叶
<i>Puccinellia</i> 碱茅属	<i>Puccinellia pamirica</i> (Roshev.) Krecz. ex Roshev. 帕米尔碱茅	29°47.787	93°50.115	灌丛	叶穗
<i>Trisetum</i> 三毛草属	<i>Trisetum clarkei</i> (Hook. F.) R. R. Stewart 长穗三毛草	27°25.057	88°56.308	森林	叶
<i>Elymus</i> 披碱草属	<i>Elymus nutans</i> Griseb. 垂穗披碱草	28°57.591	90°23.624	高山草甸	叶
	<i>Elymus sibiricus</i> Linn. 老芒麦	29°04.265	89°20.978	草原	叶
<i>Festuca</i> 羊茅属	<i>Festuca brachyphylla</i> Schult. 短叶羊茅	27°34.238	89°00.440	森林	穗茎叶
	<i>Festuca rubra</i> Linn. 紫羊茅	27°34.238	89°00.440	森林	穗茎叶
	<i>Festuca ovina</i> Linn. 羊茅	33°09.491	91°51.571	高山草甸	穗茎叶
<i>Achnatherum</i> 芨芨草属	<i>Achnatherum inebrians</i> (Hance) Keng ex Tzvel. 醉马草	38°33.246	101°22.225	草原	叶
	<i>Achnatherum splendens</i> (Trin.) Nevski 芨芨草	38°00.186	102°28.117	灌丛	叶
<i>Agrostis hugoniana</i> 剪股颖属	<i>Agrostis hugoniana</i> Rendle Var. <i>Aristata</i> Keng ex Y. C. Yang 川西剪股颖	29°57.096	92°50.691	灌丛	叶穗茎

3 结果

通过详细观察、素描、统计青藏高原早熟禾亚科

10属19种植物的植硅体, 区分出常见的早熟禾亚种植硅体形态分别是帽型、齿型、针茅哑铃型、针茅多铃型、塔型、刺球型、尖型和棒型, 其中帽型、齿型、针茅哑铃型和针茅多铃型是该亚科特有的类型, 并

且根据形态特征的变化还可以区分出不同的亚型,有些形态或亚型只发育在特定的种属中。

1) 帽型 (Hat) (插图 1-1—6):在该区早熟禾亚科中,帽型是非常典型又含量丰富的类型,大小一般在 9—18 μm,常发育 1—2 粒硅质颗粒。相当于 Mulholland 等 (1992) 分类系统中的 Rondel, Pear-sall (1989) 分类系统中的 Roundel/ Oblong。帽型并不像真的帽子,它是实心的,只有外形像帽子,帽的

顶部(较小的一面称为顶)有的是平的,有的是楔形的,有的是尖的。依据王永吉和吕厚远(1993)分类系统,将平顶的称为平顶帽型,其它的称为尖顶帽型,也有人将其分别称为圆型 (rondel) 和脊圆型/龙骨型 (keeled rondel) (黄翡等,2004; Fredlund and Tieszen, 1994)。

平顶帽型(插图 1-1—3)顶底面都为椭圆形,大小差别不大,顶面常有硅质颗粒。主要发育于长芒



插图 1 青藏高原早熟禾亚科植物植硅体类型

Morphotypes of Poideae phytolith of the Qinghai-Tibetan Plateau

1—6. 帽型; 7—13. 齿型; 14—16. 针茅哑铃型; 17, 18. 针茅多铃型; 19—22. 塔型; 23. 鞍型; 24. 刺球型; 25, 26. 尖型; 27, 28. 棒型; 29. 导管形; 30. 扇形; 31. 长方形; 32. 三角形。

1, 5, 9. 小颖鹅冠草; 2. 芨芨草; 3, 28. 长芒草; 4. 短叶羊茅; 6. 紫羊茅; 7, 10, 11. 青海早熟禾; 8, 24, 26. 冷地早熟禾; 12, 13. 长穗三毛草; 14—18, 21, 22. 西北针茅; 19. 丝颖针茅; 20, 23, 31. 帕米尔剪茅; 25. 赖草; 27. 垂穗披肩草; 29. 紫花针茅; 30, 32. 西藏鹅冠草。

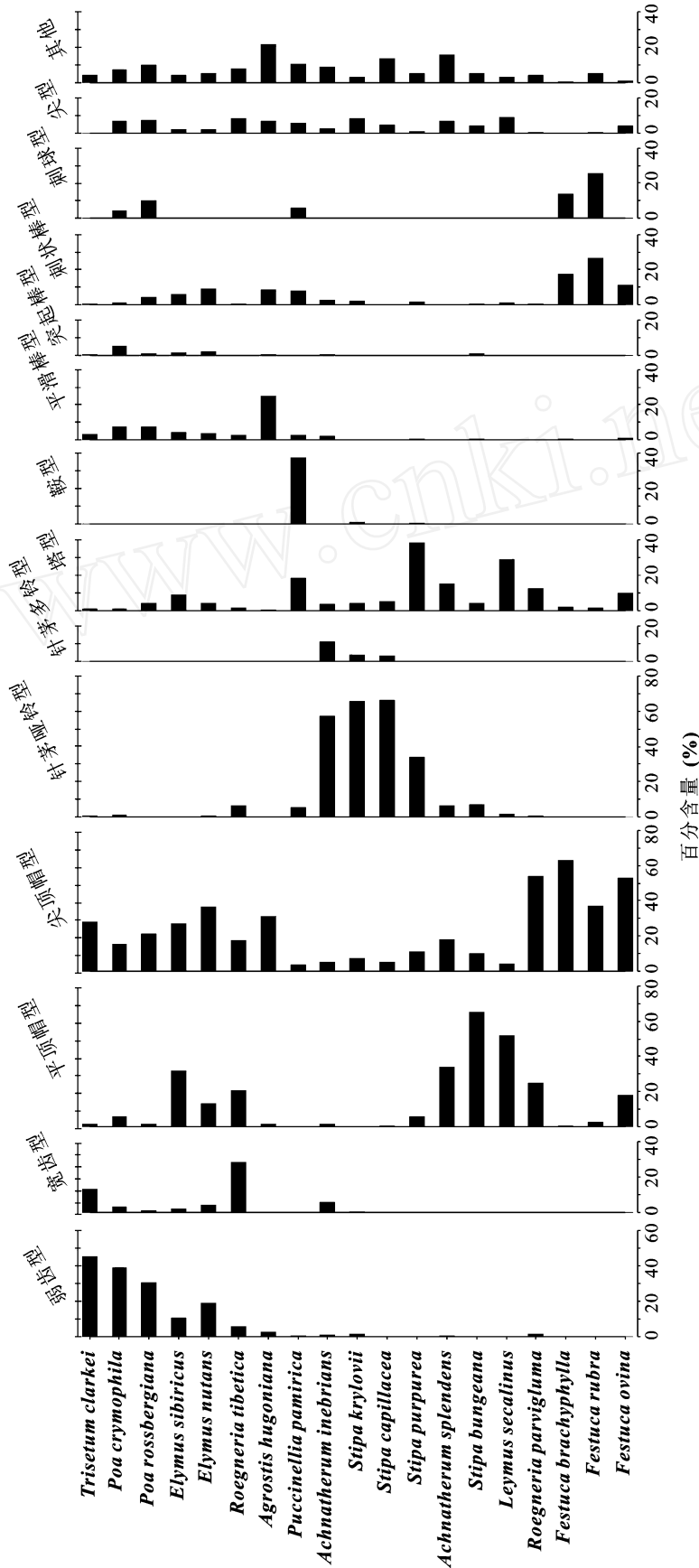


插图 2 青藏高原早熟禾亚科植硅体百分含量图
Percentage diagram of Pooideae phytolith of the Qinghai-Tibetan plateau

草、赖草、芨芨草、老芒麦、小颖鹅冠草、西藏鹅冠草、羊茅和垂穗披碱草中,含量达到 10 %以上(插图 2)。

尖顶帽型的帽顶呈尖形或楔形(插图 1-4 —6), 实心,往往顶厚边缘薄,顶部细长,截面极小,发育硅

质颗粒。尖顶帽型主要发育在羊茅属、早熟禾属、鹅冠草属、披碱草属及长穗三毛草中,含量一般达到 15%—60%以上。尽管帽型在各属种中都有发现,

但在针茅属及帕米尔碱茅和醉马草中含量较少,一般不超过 10%(表)。

表 青藏高原早熟禾亚科各类植硅体形态含量统计表
Statistics of Pooideae phytolith from the selected species

植物	类型 含量 (%)										
	齿型	帽型	塔型	针茅 哑铃 型	针茅 多铃 型	鞍型	棒型	刺球型	尖型	其他	
冷地早熟禾	41.9	21.5	1.5	1.3	0	0	14.3	4.3	6.7	7.3	
青海早熟禾	31.3	23	4.2	0	0	0	13.4	1.4	7.4	10	
垂穗披碱草	23.1	49.8	4.6	0.8	0	0	14.8	0	2	5.3	
老芒麦	12.6	58.7	9	0	0	0	11.9	0	2	4.6	
川西剪股颖	2.3	33.3	0.8	0	0	0	34.8	0.2	7	21.6	
帕米尔碱茅	0.5	3.9	18.3	5.7	0	37.1	10.9	6.2	6	10.9	
赖草	0	55.9	29	1.6	0	0	1.3	0	8.7	3.6	
长穗三毛草	58.7	29.9	1	0.6	0	0	4.8	0	0	4.5	
小颖鹅冠草	1.4	79	12.8	0.5	0	0	0.9	0	0.7	4.3	
西藏鹅冠草	33.6	38.2	2	6.6	0	0	3.4	0	8.2	8	
芨芨草	0.3	52	15.1	6.6	0	0	0	0.3	6.9	16	
醉马草	6.5	7.6	4.1	57	10.9	0	5.8	0	2.7	8.9	
西北针茅	2.2	7.4	4.5	65.8	3.8	1.2	2.2	0	8.4	3.3	
丝颖针茅	0	6.6	5.7	66.1	3.5	0	0	0	4.6	13.6	
紫花针茅	0	16.9	38.4	34.1	0	0.5	2.6	0	1	5.5	
长芒草	0	75.2	4.5	7.2	0	0	2.8	0	4.1	5.7	
短叶羊茅	0	63.7	2.5	0	0	0	18.6	14	0	0.8	
紫羊茅	0	39.7	1.7	0	0	0	26.7	25.5	0.4	5.3	
羊茅	0	71.1	10.2	0	0	0	12.5	0	4.1	1.4	

2) 齿型 (Tooth) (插图 1-7—13):长条薄板状,一般宽 $10\mu\text{m}$ 左右,长 $30\mu\text{m}$ 左右,有时可达 $50—70\mu\text{m}$ 。沿齿型长轴方向常见 1—3 条明显的棱线,截面呈多边形,两侧齿对称或不对称排列,常发育较多的硅质颗粒。根据齿型发育和排列的特征,把齿形发育较弱,齿间无宽的内凹或齿形不明显的形态称为弱齿型;把齿形明显突出,齿间有宽的内凹的形态,称为宽齿型(王永吉、吕厚远,1993)。

该区早熟禾亚科齿型植硅体主要发育在长穗三毛草、冷地早熟禾、西藏鹅冠草、青海早熟禾、垂穗披碱草和老芒麦等 6 种常见植物中,含量一般在 20%—50%左右,其它早熟禾亚科植物几乎不发育齿型植硅体。在发育齿型的 6 种植物中,主要以弱齿型植硅体为主,只有西藏鹅冠草发育较多的宽齿型植硅体(插图 2)。在发育较多帽型植硅体的针茅属、羊茅属中极少见到齿型植硅体发育。

3) 针茅哑铃型 (*Stipa bilobate*) (插图 1-14—16):哑铃型常被作为黍亚科的典型形态,但在早熟

禾亚科的针茅属中常发育与黍亚科哑铃型形态相似的类型,依据黄翡等(2004)的定名,本文称其为针茅哑铃型。仔细分析针茅属哑铃型与黍亚科哑铃型的形态特征,两者具有可以分辨的形态差别。该区所观察到的早熟禾亚科针茅属哑铃型植硅体顶视顶底面均为哑铃状(插图 1-14),有一定的厚度,两铃由顶面向底面逐渐增大,顶面小于底面,外缘弧形光滑无分裂,顶面观察哑铃到柄的轮廓是连续的,侧面多边形(插图 1-15)。

该区针茅哑铃型外缘长平均 $16 \pm 2\mu\text{m}$,宽平均 $10\mu\text{m}$,柄长平均接近 $3\mu\text{m}$ 。主要发育于针茅属和醉马草中,含量均 $> 30\%$,平均在 50%左右(插图 2,表)。

4) 针茅多铃型 (*Stipa multilobate*) (插图 1-17, 18):1 个柄连接 3 个或 3 个铃以上通常称为多铃型。只在醉马草(10.9%)、西北针茅(3.8%)和丝颖针茅(3.5%)中发现。

5) 塔型 (Tower) (插图 1-19—22):该区早熟

禾亚科中此类型比较常见,宽大的底面常常呈椭圆形,中间常有浅凹沟分开,常见其侧面形态,呈梯形,通常发育硅质颗粒 1—2 粒。塔型与平顶帽型的区别是:平顶帽型的顶底面都近似圆形没有凹沟分开。该类型同 Fredlund 等 (1994) 定义的截锥型类似。统计时根据其顶底面的形状分为单角塔形和双角塔形:单角塔形(插图 1-19)顶底表面差别很大,顶面截面很小以至于接近一个圆点,所以称之为单角塔,个体极小,一般小于 $8\mu\text{m}$,含量极少,通常少于 3%,所以也常将其归入短细胞圆型植硅体类别(黄翡等, 2004);双角塔形(插图 1-20—22)顶底面均为椭圆形,顶面小于底面,顶面发育为两个棱角,所以称之为双角塔形,大小一般在 $9—18\mu\text{m}$ 。发育的主要属种有:紫花针茅、赖草、帕米尔碱茅、芨芨草、小颖鹅冠草和羊茅,含量 10%—40%,在其它属种如老忙麦、醉马草、西北针茅、丝颖针茅和长芒草中含量均 < 10%。

6) 刺球型 (Spinulate ball) (插图 1-24):呈球形,大小一般在 $12\mu\text{m}$ 左右,表面布满小圆柱状突起物,突起长约 $2\mu\text{m}$,与锥状帽形相伴出现,在植物体中的分布暂时没有发现规律,同徐德克等 (2005) 对棕榈科植硅体形态研究中描述的刺球形相似,但刺的大小分布不像棕榈科刺球形那样均匀。发育的种属主要有:紫羊茅、短叶羊茅和青海早熟禾,含量均大于 10%。

7) 尖型 (Point) (插图 1-25, 26):形态变形幅度较大,有些可以保持生长纹,有些则在尖形主体边缘有突起物。同王永吉、吕厚远 (1993) 和 Kondo 等 (1994) 的命名原则一致,相当于 Brown (1984) 和 Pearsall (1989) 分类系统的毛状体 (trichomes)。在该区 19 种早熟禾亚科植物中,除短叶羊茅和长穗三毛草外都有发现,且含量多为 5%—10%。

8) 棒型 (Elongate) (插图 1-27, 28):长棒状,粗细长短不同,一般宽 $10\mu\text{m}$ 左右,长 $> 50\mu\text{m}$,有时会被折断,属于大型植硅体类型,同 Twiss 等 (1969) 和 Kondo (1994) 分类系统中的 Elongate,以及王永吉、吕厚远 (1993) 的棒型(包括:Plate-like bar, point bar 和 smooth bar 3 种类型)一致。棒形表面发育物不同,有的极其平滑,有的发育突起(插图 1-27),有的有刺发育(插图 1-28),在该区各属种都有发育,含量一般小于 8%。

另外还发现鞍型 (Saddle) (插图 1-23),一般认为鞍型是禾本科画眉草亚科植物植硅体的特征型 (Brown, 1984; Mulholland and Rapp, 1992; Fred-

lund and Tieszen, 1994; Twiss *et al.*, 1969), 马鞍状,两头较厚,中部略凹,表面光滑,长宽比小于 1,同王永吉和吕厚远 (1993) 分类系统中的短鞍型相似,只见于帕米尔碱茅,含量 37% 左右。

还有一些其它形状,含量很少,包括:导管形(插图 1-29)、扇形(插图 1-30)、长方形(插图 1-31)和三角形(插图 1-32)。三角形仅见于西藏鹅冠草,约有 2%,平面形态呈等腰三角形,底面一般长 $30—50\mu\text{m}$,高(从底面到三角形拐点处的长度)通常为 $17.5—25\mu\text{m}$,从顶端延伸出的细长棒状缓慢变细,一直可以延伸很长(最长曾测到 $550\mu\text{m}$),但是极易折断。

4 讨 论

早熟禾亚科植物是构成我国温带草原、高寒草原和山地草原的重要成分,由于水热条件的变化,其生态特征差异明显,形成不同的草原群落。植物学工作者常依据早熟禾亚科植物的不同种类对其所形成的草原群落进行分区。在青藏高原地区,气候随海拔高度的变化,草原植被常呈垂直地带性分布。目前对一些常见的早熟禾亚科植物植硅体类型在亚科一级上已经有了较多的研究(王永吉、吕厚远, 1993; 黄翡等, 2004; Twiss, 1992),但对于族、属一级的植硅体形态还缺少进一步的分析,特别是针茅属哑铃型植硅体,其形态与黍哑铃型及双角塔形有类似的形态特征,因此,正确区分地层中针茅哑铃型与黍哑铃型在古生态和古环境恢复中有重要意义,能够为推断草原植被是以针茅占优势(C3 植物)还是以黍亚科(C4 植物)占优势的演变历史提供重要依据(黄翡等, 2004)。针茅哑铃型反映寒冷、干旱的生态环境,黍哑铃型反映温湿、温热的环境。Puerto 等 (2006) 曾将针茅哑铃型和齿型、帽型、截锥型组合作为 C3 植物植硅体代表,用它同 C4 植物植硅体组合的比值作为温度的指标,恢复环境的海拔和温度。因此对针茅属哑铃型形态的研究得到越来越多的关注 (Puerto *et al.*, 2006; Gallego and Distel, 2004)。

Twiss 等 (1969) 首先提出早熟禾亚科的针茅能够产生哑铃型植硅体, Fredlund 和 Tieszen (1994) 与 Kerns (2001) 分别采用“*Stipatype*”和“*Stipeae Pyramid*”命名此类型植硅体,黄翡等 (2004) 将其称为针茅哑铃型,用以区别常见的哑铃型。

在形态上,针茅哑铃型不仅容易与黍哑铃型相混,而且与许多禾草植物发育的双角塔形也有类似

的特征。本文通过对青藏高原常见 4 个典型针茅种类的植硅体分析、观察和统计,认为用三维活动片观察容易将它们区分开来。与针茅哑铃型相比较,黍哑铃型侧面平整对称,厚度不大,底面和顶面大小相当,哑铃的铃形外缘常见平截、下凹、分裂向两侧变薄甚至呈叶片状,或者呈十字形(四裂瓣轮廓),侧面对称(Lu and Liu, 2003),与本文前面描述的针茅哑铃型形态有较大的差别。与双角塔形的区别在于针茅哑铃型顶、底面为哑铃形,有些底面边缘可以呈褶皱状;双角塔形顶底面则为椭圆形,宽大的底面常常呈椭圆形,椭圆形中间常有凹沟分开,通常看到的是它的侧面形态,呈梯形,且个体较针茅哑铃型要小。

针茅属是禾本科针茅族(*Stipeae* Dumort.) 种类较多的一个属,共有 200 多种,我国常见针茅属有 30 多种,主要分布在西北和东北地区(卢生莲、吴珍兰, 1996)。针茅属植物具有较强的耐寒、耐旱特征,形成多年生密丛禾草,植株低矮,叶片内卷,机械组织和保护组织发达,是我国高寒草原的典型代表种类,特别是紫花针茅,在青藏高原有较大的分布区域。另外,芨芨草属也隶属于针茅族(*Stipeae* Dumort.), 约有 20 种和变种,主要分布于欧亚大陆,只有少数种分布于北美和北非,本属的现代分布中心在我国青藏高原的东缘,即四川省西北部、甘肃省南部、西部和青海省东部,该分布中心在植物地理分区上属于古地中海区亚洲中部亚区西藏、青海东部与亚洲东部亚区相交接的地方(初庆刚等, 1992)。因此,不难解释为何该区芨芨草属的醉马草中针茅哑铃型含量达到 50% 以上。比较特殊的是长芒草,其针茅哑铃型含量只有 7.2%,以帽型占主导的组合特征同羊茅属的植硅体类型相似,区别在于长芒草中棒型少见,帽型的底面呈褶皱状(47.7%) (插图 1-3)。所以,针茅哑铃型有可能是针茅族的形态特征,但还有待于进一步深入研究。

帽型植硅体在所有早熟禾亚科都有发育,但不同属间所发育的帽型亚型和含量有明显差异:羊茅属、早熟禾属等主要发育尖顶帽型,长茅草、赖草等主要发育平顶帽型。从插图 2 和表 1 可以看出,针茅族的 5 个种和帕米尔碱茅中很少发育帽型植硅体。

过去的研究一般认为齿型是早熟禾亚科常见的形态(王永吉、吕厚远, 1993),但在本文分析的羊茅属和针茅属样品中,极少见到齿型植硅体,这也许与样品叶的部分含量较少有关,还需要做进一步的工作。齿型主要发育在鹅观草属和早熟禾属中,而且多数植物主要发育弱齿型,由于目前分析的样品数

量较少,还无法从属一级上认识其分布特点,有待于将来进一步的工作。

鞍型植硅体一直作为画眉草亚科的典型形态,是用于代表 C4 植物反映暖干环境的指示类型,还没有人报道过可以在早熟禾亚科中出现。在本文分析的帕米尔碱茅中,鞍型植硅体达到 37% 以上。碱茅属植物多属于中度盐生植物,适合在具有一定盐度的土壤上发育,碱茅属鞍型植硅体的发育是否与其适应特殊生理干旱环境的特性有关,有待进一步研究。

随着遗传学研究的进展,目前把禾本科分成 6 个亚科或 5 个亚科的分类体系,逐渐受到冲击。最近 GPWG(2001) 发表的禾本科遗传学的成果,把禾本科分为 12 个亚科。随着禾本科植硅体形态学研究的深入,新的标志性类型可能越来越多,与自然分类的关系可能更明确,或许原来划分的禾本科不同亚科的典型形态会逐渐被细化和修改。

我国青藏高原地区早熟禾亚科植物众多,本文只是对常见的典型植物进行了初步分析,而且除了分析不同植物的叶以外,在部分植物中同时分析了茎和穗中的植硅体,有可能在不同植物不同形态类型的数量统计上,造成一定的误差。本文的工作深入分析了不同植硅体形态-亚形态在不同属、种中分布特点,随着对青藏高原不同地区不同早熟禾亚科植物分布的生态气候环境的深入研究,可以进一步明确不同植硅体形态的气候环境意义。

5 结 论

通过对青藏高原地区 19 种现在早熟禾亚科植硅体分析,对常见的形态类型进行了详细的鉴定、统计和分类,显示青藏高原地区典型早熟禾亚科植物主要以齿型、帽型和针茅哑铃型为典型形态类型,根据不同亚型在不同植物中分布规律,初步明确了部分属一级的植硅体形态特点,为进一步深入研究该区草原植被群落的演替过程和规律提供了植硅体形态学分析的基础。不同早熟禾亚科植物中同时发育较丰富的塔型和针茅哑铃型等形态组合反映高纬、高海拔、寒冷的生态环境。

该区早熟禾亚科的 19 个种都产生帽型植硅体,除针茅属、帕米尔碱茅帽型含量较少外,其它种类帽型植硅体含量丰富,而且羊茅属、早熟禾属等主要发育尖顶帽型,长芒草、赖草等主要发育平顶帽型;针茅哑铃型在针茅属中占绝对优势,在其它族属中很

少出现, 可以作为识别针茅属的特征类型, 初步的分析显示青藏高原地区的针茅属植物很少发育齿型和帽型植硅体; 青藏高原早熟禾亚科植物的齿型植硅体主要以弱齿型为主, 而且重点分布在鹅观草属和早熟禾属中。从早熟禾亚科属一级植硅体初步的分布特征和组合看, 针茅属主要发育针茅哑铃型, 羊茅属主要发育尖顶帽型; 长芒草、赖草等主要发育平顶帽型; 早熟禾属、三毛草属同时发育较丰富的帽型和齿型。

参 考 文 献 (References)

- Alexandre A, Meunier J D, Lezine A M *et al.*, 1997. Phytoliths: indicators of grassland dynamics during the late Holocene in intertropical Africa. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **136**(1-4): 213—229.
- Brown D A, 1984. Prospects and limits of a phytolith key for grasses in the central United States. *Journal of Archaeological Sciences*, (11): 345—368.
- Chu Qing-gang(初庆刚), Zhang Chang-sheng(张长胜), Jiang Xian-fu(江先甫), 1992. Studies on the geographical origin and distribution of the genus *Achnatherum*. *Journal of Laiyang Agricultural College*, **9**(1): 13—17 (in Chinese with English abstract).
- Fredlund G G, Tieszen L T, 1994. Modern phytolith assemblages from the North American Great Plains. *Journal of Biogeography*, **21**: 321—335.
- Gallego L, Distel R A, 2004. Phytolith Assemblages in Grasses Native to Central Argentina. *Annals of Botany*, **94**: 865—874.
- Gallego L, Distel R A, Camina R *et al.*, 2004. Soil phytoliths as evidence for species replacement in grazed rangelands of central Argentina. *Ecography*, **27**: 725—732.
- GPWG, 2001. Phylogeny and subfamilial classification of the grasses (Poaceae). *Annals of the Missouri Botanical Garden*, **88**: 373—457.
- Gu Yan-sheng(顾延生), Li Chang-an(李长安), Zhang Zhe-jun(章泽军), 1997. Application of phytolith analysis in study of vermicular red earth in south china. *Geological Science and Technology Information*, **16**(4): 55—58 (in Chinese with English abstract).
- Hu Zi-zhi(胡自治), 2000. Development of Grass Industry and Ecological Environments of Qinghai-Tibetan Plateau. Beijing: Tibetan Press of China. 8—112 (in Chinese).
- Huang Fei(黄 翡), Lisa K, Huang Feng-bao(黄凤宝), 2004. Diagnostic phytoliths from nei mongol grassland. *Acta Palaeontologica Sinica*, **43**(2): 246—253 (in Chinese with English abstract).
- Huang Fei(黄 翡), Pei An-ping(裴安平), 2001. Pollen and phytolith assemblage and archaeological implications in the hochung site, Hong Kong. *Acta Micropalaeontologica Sinica*, **18**(4): 398—405 (in Chinese).
- Ji Li-ming(吉利明), Chen Jiar-fa(陈践发), Lai Xu-long(赖旭龙) *et al.* 2002. Application of phytolith in reconstruction of loessial paleoclimate. *Geology-geochemistry*, **30**(4): 57—62 (in Chinese with English abstract).
- Kerns B K, 2001. Diagnostic phytoliths for a Ponderosa pine-bunchgrass community near Flagstaff, Arizona. *The Southwestern Naturalist*, **46**(3): 282—294.
- Kondo R, Childs C, Atkinson I, 1994. Opal phytoliths of New Zealand. Lincoln: Manaaki Whenua Press. Canterbury. 85.
- Liu Tung-sheng(刘东生), Guo Zheng-tang(郭正堂), Wu Nai-qin(吴乃琴) *et al.*, 1994. Prehistoric vegetation on the loess plateau: Steppe or Forest? *Acta Geoscientia Sinica*, (3-4): 226—234 (in Chinese with English abstract).
- L ü H, Liu K-B, 2003. Morphological variations of lobate phytoliths from grasses in China and the south-eastern United States. *Diversity and Distributions*, **9**(1): 73—87.
- L ü Hour-yuan(吕厚远), Wang Yong-ji(王永吉), 1991. A study on phytoliths in loess profile and paleoenvironmental evolution at heimugou in luochuan, Shaanxi Province since late Pleistocene. *Quaternary Sciences*, (1): 72—83 (in Chinese with English abstract).
- L ü Hour-yuan(吕厚远), Liu Tung-sheng(刘东生), Wu Nai-qin(吴乃琴) *et al.*, 1999. Phytolith record of vegetation succession in the southern loess plateau since late plesitocene. *Quaternary Sciences*, (4): 336—349 (in Chinese with English abstract).
- L ü Hour-yuan(吕厚远), Wu Nai-qin(吴乃琴), Wang Yong-ji(王永吉), 1996. The study of rice fan shape of phytolith and its application in archaeology. *Archaeology*, (4): 82—86 (in Chinese).
- L ü Hour-yuan, Wu Nai-qin, Liu Tung-sheng *et al.*, 1996. Seasonal climatic variation recorded by phytolith assemblages from the Baoji loess sequence in central China over the last 150 000a. *Science in China (Series D)*, **39**(6): 629—639.
- Lu Sheng-lian(卢生莲), Wu Zhen-lan(吴珍兰), 1996. On geographical distribution of the genus *Stipa* L. in China. *Acta Phytotaxonomica Sinica*, **34**(3): 242—253 (in Chinese with English abstract).
- Mulholland S C, Rapp G J, 1992. A morphological classification of grass silicabodies. *In*: Rapp G J, Mulholland S C (eds.), *Phytolith Systematics: Advances in Archaeological and Museum science*. New York: Plenum Press. 65—89.
- Pearsall D M, 1989. *Paleoethnobotany. A Handbook of Procedures*. San Diego: Academic Press. 1—470.
- Piperno D R, 1988. *Phytolith Analysis: An Archaeological and Geological Perspective*. San Diego: Academic Press. 1—176.
- Pohl M E D, Piperno D R, Pope K O *et al.*, 2007. Microfossil evidence for pre-Columbian maize dispersals in the neotropics from San Andrés, Tabasco, Mexico. *Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)*, **104**(16): 6870—6875.
- Puerto L d, Garc ía-Rodr íguez F, Inda H *et al.*, 2006. Paleolimno-

- logical evidence of Holocene climatic changes in Lake Blanca, southern Uruguay. *Journal of Paleolimnology*, **36**:151—163.
- Stromberg C A E, 2004. Using phytolith assemblages to reconstruct the origin and spread of grass-dominated habitats in the great plains of North America during the late Eocene to early Miocene. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **207** (3-4):239—275.
- Stromberg C A E, 2005. Decoupled taxonomic radiation expansion of open habitat grasses Cenozoic of North America. *Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)*, **102** (34):11980—11984.
- Twiss P C, 1992. Predicted world distribution of C3 and C4 grass phytoliths. New York: Plenum Press. 113—127.
- Twiss P C, Suess E, Smith R M, 1969. Division S-5 soil genesis, morphology, and classification (morphological classification of grasses phytolith). *Soil Science Society of America, Proceedings*, **33**:109—115.
- Wang Wei-ming, Liu Jin-ling, Zhou Xiao-dan, 2003. Climate indexes of phytoliths from *Homo erectus*' cave deposits in Nanjing. *Chinese Science Bulletin*, **48**(18):2005—2009.
- Wang Yong-ji (王永吉), Lu Hour-yuan (吕厚远), 1993. The Study of Phytolith and its Application. Beijing: China Ocean Press. 1—228 (in Chinese).
- Wang Yong-ji (王永吉), Lu Hour-yuan (吕厚远), Heng Ping (衡平), 1994. Methods of phytolith analysis. *Acta Botanica Sinica*, **36**(10):797—804 (in Chinese with English abstract).
- Wu Nai-qin (吴乃琴), Lu Hour-yuan (吕厚远), Sun Xiang-jun (孙湘君) *et al.*, 1994. Climate transfer function from opal phytolith and its application in paleoclimate reconstruction of china loess-paleosol sequence. *Quaternary Sciences*, (3):270—279 (in Chinese with English abstract).
- Xu De-ke (徐德克), Li Quan (李泉), Lu Hour-yuan (吕厚远), 2005. Morphological analysis of phytoliths in Palmae family and its environmental significance. *Quaternary Sciences*, **25** (6):785—792 (in Chinese with English abstract).
- Zheng Xiang-min (郑祥民), Zhao Jian (赵健), Zhou Li-min (周立曼) *et al.*, 2002. Phytolith and its paleoenvironmental significance in aeolian loess of Shengshan Island of the East China Sea. *Marine Geology and Quaternary Geology*, **22**(1):25—30 (in Chinese with English abstract).

THE MORPHOLOGY AND ASSEMBLAGES OF PHYTOLITH IN POOIDEAE FROM THE QINGHAI-TIBETAN PLATEAU

QIN Li^{1,2,3)}, LI Jie²⁾, WANG Luo¹⁾ and LU Hour-yuan¹⁾

1) Institute of Geology and Geophysics, the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China, inol@mail.iggeas.ac.cn;

2) China University of Geosciences, Beijing 100083, China;

3) Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China

Key words Phytolith, Pooideae, *Stipa*, Qinghai-Tibetan Plateau

Abstract

Phytolith as a climate proxy is one of the most important and effective tool for reconstruction of paleoenvironments. It is necessary to investigate phytolith assemblages from plant in detail for a full understanding of the relationships between phytolith and climate.

There have been limited previous study on phytolith morphology and assemblages of plants from the Qinghai-Tibetan plateau and, in particular, phytolith assemblages of Pooideae from this area are little known. This study deals with the shape, size and assemblage of phytolith, based on

investigation of 10 genus and 19 species of plants from the Qinghai-Tibetan Plateau. The phytolith morphotypes from the selected species of Pooideae demonstrate that hat, tooth, *Stipa* bilobate and *Stipa* multilobate are the representative types. Meanwhile, tower, elongate, spinulate ball and point shapes are also identified. The data of statistics of phytolith indicates that some genera have the same phytolith assemblages. For example, *Festuca* and *Poa* mainly produce point-hat shapes; *Stipa bungeana* and *Leymus secalinus* are dominated by flat-hat shapes; *Stipa* mainly produces *Stipa* bilobate; *Poa* and *Trisetum* have abundant hat and tooth shapes.