

中国草原区主要群落类型花粉组合特征

李月丛¹, 许清海², 阳小兰³, 郑振华³

(1. 中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029; 2. 河北师范大学资源与环境学院, 石家庄 050016;
3. 河北省地理科学研究所, 石家庄 050011)

摘要:现代表土花粉组合与植被关系研究是推断过去植被演化的基础。对中国草原区 39 个样点进行植被调查及表土花粉分析的研究结果表明,表土花粉组合可反映出草原植被的总体特征。大多数样品中乔木花粉百分比低于 5%。蒿属、藜科是草原区所有样品花粉组合中最主要的成分,两者在花粉组合中所占比例多大于 50%,且人类活动越强或气候越干旱,蒿属、藜科花粉所占百分比越高。花粉组合不能反映群落结构特征,如建群种、结构、盖度等的差异在花粉组合中表现不出来。即使以禾本科为建群种的草原群落,禾本科花粉所占比例也多低于 10%。花粉浓度在草原区花粉与植被关系研究中意义不明确。典型草原与荒漠草原花粉组合存在明显区别,无倾向性对应分析(DCA)分析表明,典型草原区样品在第一排序轴的排序值多高于 0,荒漠草原区样品的排序值小于 0;典型草原区藜科花粉百分比一般低于 25%,花粉类型多样性指数大于 2,当蒿藜占花粉总数的 50%以上时,蒿藜比值大于 2。荒漠草原区藜科花粉含量多高于 25%,蒿藜比值多为 0.5~2,花粉类型多样性指数多为 1~2。蒿属花粉属超代表性,但在蒿类建群的群落中,蒿属花粉多低于其在植被中的百分比。

关键词:荒漠草原;典型草原;花粉组合;无倾向性对应分析;聚类分析;蒿藜比;花粉类型多样性指数

Pollen assemblages of major steppe communities in China

LI Yue-Cong¹, XU Qing-Hai², YANG Xiao-Lan³, ZHENG Zhen-Hua³ (1. Institute of Geology and Geophysics, CAS, Beijing 100029; 2. College of Resources and Environment, Hebei Normal University, Shijiazhuang 050016, China; 3. Hebei Institute of Geography, Shijiazhuang 050011, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(3): 555~564.

Abstract: Relationships between modern surface pollen and vegetation are essential for recovering past vegetation. In this paper, 39 sites covering various types of steppe in China were selected to study the relationships, at each sites, one surface soil sample was collected and vegetation investigations were carried out at the same time. The result shows that surface pollen assemblages reflect similar characteristics for all types of steppe vegetation in general. The percentages of arboreal pollen are less than 5% in most of samples, with *Artemisia* and Chenopodiaceae as the most important pollen types. The percentages of *Artemisia* and Chenopodiaceae are more than 50% in most of the samples and increase with aridity or under the impact of human. However, the surface pollen assemblages do not reflect the structure and cover of plant communities. The percentages of Gramineae are less than 10% in surface pollen assemblages even in areas where Gramineae is the constructive or dominant species in plant communities. This indicates that total pollen concentration is not an essential factor for studying the

基金项目:国家科技部重大基础研究前期研究专项资助项目(2003CCA01800);国家自然科学基金资助项目(40171095);河北省自然科学基金资助项目(402615)

收稿日期:2004-01-06; **修订日期:**2004-09-19

作者简介:李月丛(1966~),女,石家庄人,博士生,副研究员,主要从事古生态学与全球变化研究. E-mail: lyczh@sohu.com

致谢:河北师范大学刘濂教授,河北省地理科学研究所孟令尧研究员、于和平工程师参加野外工作,样品分析由于和平工程师完成。英国赵英魁博士也对本文给予了帮助,特此致谢

Foundation item: Special Fund for Preliminary Research of Key Basic Research Project, National Science and Technology Department (No. 2003CCA01800), the National Natural Science Foundation of China (No. 40171095) and Hebei Natural Science Foundation (No. 402615)

Received date: 2004-01-06; **Accepted date:** 2004-09-19

Biography: LI Yue-Cong, Ph. D. candidate, Associate professor, mainly engaged in paleoecology and global environment changes. E-mail: lyczh@sohu.com

Acknowledgements: The authors like to thank Professor Liu Lian, Professor Meng Ling-Yao and Engineer Yu He-Ping for taking part in field work, and Dr. Zhao Ying-Kui for his help, and Engineer Yu He-Ping for laboratory sample analysis

relationships between surface pollen and vegetation. The surface pollen assemblages also show some differences between typical steppe and desert steppe. Based on Detrended Correspondence Analysis (DCA), the ordering values of samples in typical steppe areas were less than zero in the axis one, while the ordering values of samples from desert steppe areas are more than zero in the same axis. In pollen assemblages of typical steppe, the percentages of Chenopodiaceae are less than 25%, and pollen types diversity indices are more than 2, and the ratio between *Artemisia* and Chenopodiaceae (A/C) are more than 2 when Chenopodiaceae and *Artemisia* are more than 50%. In pollen assemblages of desert steppe, the percentages of Chenopodiaceae and *Artemisia* are more than 60% and Chenopodiaceae are more than 20%; pollen types indices are 1~2, and A/C values are 0.5~2. Although *Artemisia* are often considered as over-representative pollen types, the percentages of *Artemisia* in pollen assemblages are found less than that in vegetations when *Artemisia* become constructive species and the percentages of Gramineae are less than 10% in steppe vegetations.

Key words: desert steppe; typical steppe; pollen assemblages; Detrended Correspondence Analysis; Cluster Analysis; A/C ratio; pollen types diversity indices

文章编号:1000-0933(2005)03-0555-10 中图分类号:Q948 文献标识码:A

化石花粉分析是恢复古植被、古气候的重要手段之一,在全球变化研究中起着重要作用。表土花粉分析是进行化石花粉分析的基础,它直接影响着对化石花粉谱的正确解释,进而影响古环境研究的精度。目前国内关于表土花粉与植被关系的研究多集中于森林植被^[1~9]。中国北方温带草原区为一大的植被带,从东至西分为草甸草原、典型草原和荒漠草原。不同类型草原植物组成差别很大,气候上也存在着明显的差异。化石花粉分析中经常遇到以草本为主的花粉组合,但我国关于草原花粉组合特征研究较少^[10~12],不同草原类型花粉组合特征研究更少^[13]。本文基于不同草原类型植被样方调查和表土花粉资料,采用花粉数据的无倾向性对应分析(DCA)排序及分层聚类方法(CLA),定量研究不同草原类型表土花粉组合特征,为定量恢复古植被、古环境提供现代孢粉学依据。

1 研究区域概况

研究区域东起 117°14'14"E 西至 105°44'02"E,北起 42°30'36"南至 37°46'36",行政区包括内蒙古、宁夏及河北三省区^[14,15],涵盖了草甸草原、典型草原、荒漠草原三大草原区。不同草原区的分异主要受控于降水量。

草甸草原区采样点位于该区西南边缘,年均降水量 450mm 左右^[14],采集样品 2 个。典型草原区采样点较多,涉及内蒙古高原、鄂尔多斯高原及黄土高原,年均降水量 250~400mm^[14],采集样品 18 个。荒漠草原区采样点亦较多,主要集中于鄂尔多斯高原西部和黄土高原西部,年均降水量低于 300 mm^[14,16,17],采集样品 19 个(图 1)。

2 研究方法

2.1 植被调查

三大草原区共调查植物样方 39 个,分属于 18 群落。

I 荒漠草原区

1 地带性植被

- (1)戈壁针茅(*Stipa gobica*)群落(B1~B3)
- (2)短花针茅(*S. breviflora*)群落(D1~D7)
- (3)锦鸡儿(*Caragana*)群落(J1~J2)
- (4)隐子草(*Cleistogenes*)群落(Y1)

2 草原带沙生植被

- (5)油蒿(*Artemisia ordosica*)群落(A1~A3)
- (6)沙蓬(*Agriophyllum squarrosum*)群落(C1)

3 低地盐生草甸化植被

- (7)羊草群落(*Leymus chinensis*)(Y3);
- (8)拂子茅(*Calamagrostis*)群落(Y2)。

II 典型草原区

1 地带性植被

- (9)大针茅(*Stipa grandis*)草原群落(S1~S3)
- (10)克氏针茅(*S. krylovii*)草原群落(K1~K3)

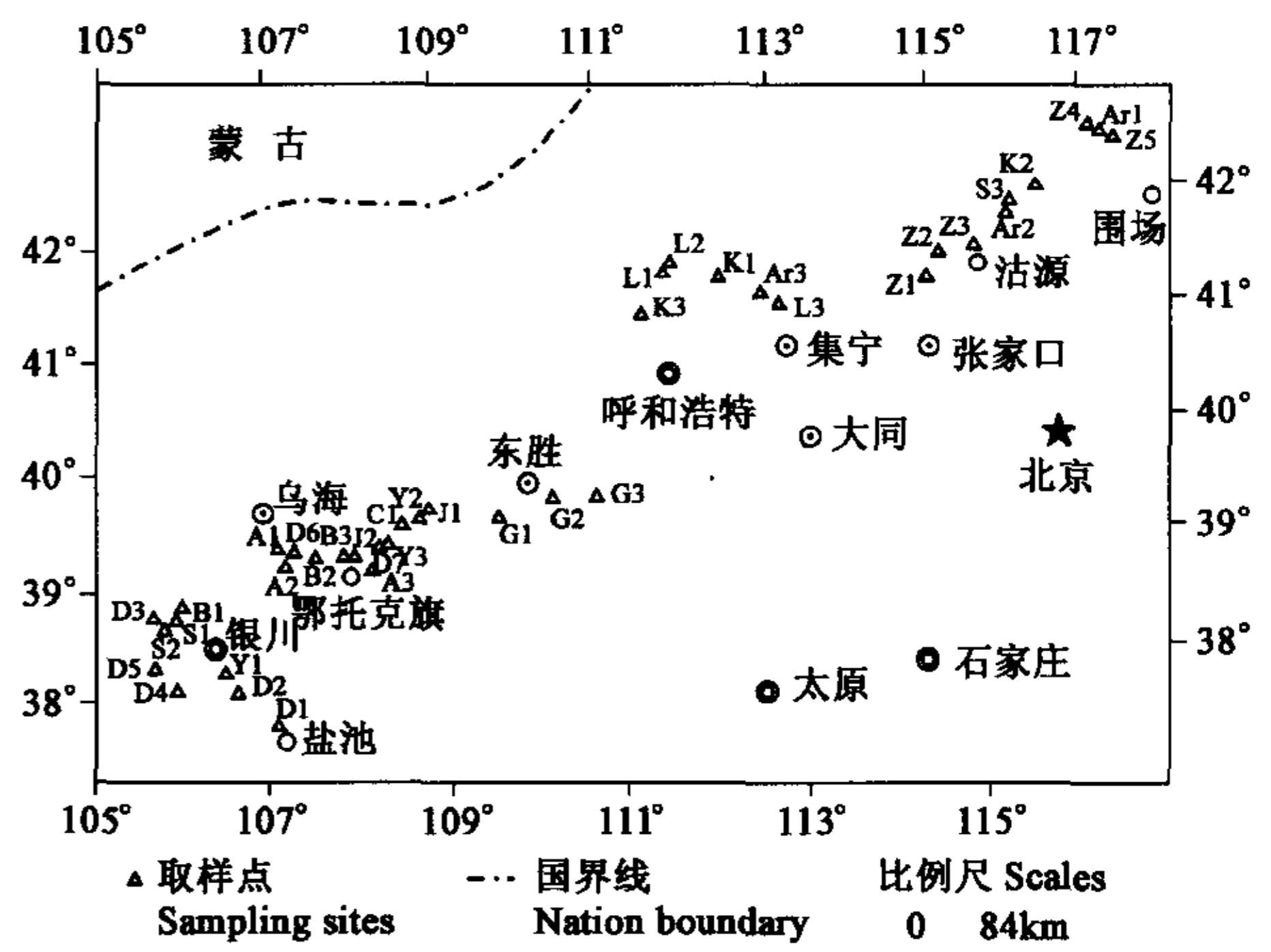


图 1 中国草原区表土样品取样点位置图

Fig. 1 Location of the surface pollen sampling sites in the steppe of China

(11)冷蒿+克氏针茅草原群落(L1~L3)

(12)百里香(*Thymus mongolicus*)+长芒草(*S. bungeana*)典型草原群落(G1~G3)

2 人为干扰植被

(13)黄蒿(*Artemisia scoparia*)群落(Ar1)

(14)冷蒿群落(Ar2~Ar3)

3 低地盐化草甸植被

(15)芨芨草(*Achnatherum splendens*)群落(Z1)

(16)碱茅(*Puccinellia*)群落(Z2~Z3)

Ⅲ 草甸草原区

(17)杂类草草甸群落(Z4)

(18)落草(*Koeleria cristata*)群落(Z5)

不同群落植被组成特点见表 1。

野外调查采用全球定位系统(GPS)精确定位。植被调查样方面积 $1 \times 1 \text{ m}^2$, 样方内植被调查按灌木、草本分别记录物种名称、盖度, 多度等生境特征(表 1)。共做调查样方 39 个。植被调查的同时, 在样方内按梅花点法取表土花粉样品(0~2 cm 表土)。

3.2 实验室处理

花粉分析实验室取样重量 20 g。花粉提取采用常规的酸、碱处理(酸、碱处理后均洗至中性)和重液浮选的方法^[18]。样品处理前加入定量(11 670 粒)的石松孢子, 以统计计算花粉的浓度。花粉鉴定统计在 400 倍的日本 Olympus 光学生物显微镜下进行, 每个样品鉴定统计花粉 400 粒以上, 观察统计玻片 4~6 个或更多。最后在 Tilia 软件的支持下做出花粉百分比图式和花粉浓度图式。

3.3 数据处理

为比较不同植被类型花粉组合异同及确定孢粉组合与植被的关系, 将全部样品的孢粉百分比数据进行无倾向性对应分析(Detrended Correspondence Analysis, 简称 DCA), 及聚类分析(Cluster Analysis, 简称 CLA), 并计算多样性指数 I(利用 MVSP 软件)。DCA 分析是以种类排序值的均值作为样品的排序值, 同时以样品排序值的平均值来计算种类的新排序值, 平均过程不断重复, 直至出现稳定的样品排序值和种类排序值^[19]。轴的提取依据 Kaiser 定律, 算法采用 Cyclic jacobi 方法进行。聚类分析是根据样本的多指标、多观察数据, 定量确定样品、种类间的相似性或亲疏关系^[20]。聚类方法采用最小方差进行, 数据不进行标准化。此外借用植物种类多样性计算方法之一的 Shannon 方法进行了花粉类型多样性指数的计算。

3 主要植被类型孢粉组合特征

3.1 主要花粉类型

18 个主要植被类型的 39 个表土样品共鉴定出花粉类型 102 个, 其中乔木类型 18 个, 分别为松(*Pinus*)、云杉(*Picea*)、冷杉(*Abies*)、落叶松(*Larix*)、桦(*Betula*)、朴(*Celtis*)、栎(*Quercus*)、漆树(*Rhus*)、槭(*Acer*)、榆(*Ulmus*)、青檀属(*Pteroceltis*)、杨(*Populus*)、鹅耳枥(*Carpinus*)、椴(*Tilia*)、胡桃(*Juglans*)、柳(*Salix*)、栗(*Castanea*)、桤(*Alnus*); 灌木类型 25 个, 分别为: 虎榛子(*Ostryopsis*)、怪柳科(*Tamaricaceae*)、红砂(*Reaumuria soongorica*)、榛(*Corylus*)、木犀科(*Oleaceae*)、黄栌(*Cotinus*)、百里香(*Thymus*)、绣线菊(*Spiraea*)、狼毒(*Stellera*)、绵刺(*Potaninia*)、麻黄(*Ephedra*)、锦鸡儿(*Caragana*)、鼠李科(*Rhamnaceae*)、酸枣(*Zizyphus jujuba*)、杜鹃花科(*Ericaceae*)、黄杨科(*Buxaceae*)、马鞭草科(*Verbenaceae*)、枸杞属(*Lycium*)、忍冬科(*Caprifoliaceae*)、小檗科(*Berberidaceae*)、山茱萸科(*Cornaceae*)、白刺(*Nitraria*)、荆条(*Vitex*)、沙棘(*Hippuris*)、胡颓子科(*Elaeagnaceae*); 草本类型 59 个, 分别为: 蒿(*Artemisia*)、藜科(*Chenopodiaceae*)、禾本科(*Gramineae*)、菊科(*Compositae*)、苍耳(*Xanthium*)、紫菀(*Aster*)、蓝刺头(*Echinops*)、虎儿草属(*Saxifraga*)、蓼(*Polygonum*)、荞麦(*Fagopyrum*)、酸模(*Rumex*)、伞形科(*Umbelliferae*)、葎草(*Humulus*)、蔷薇科(*Rosaceae*)、委陵菜(*Potentilla*)、地榆(*Sanguisorba*)、牻牛儿苗科(*Geraniaceae*)、堇菜属(*Viola*)、莎草科(*Cyperaceae*)、唇形科(*Labiatae*)、葫芦科(*Cucurbitaceae*)、豆科(*Leguminosae*)、茄科(*Solanaceae*)、蒺藜属(*Tribulus*)、锦葵科(*Malvaceae*)、景天科(*Crassulaceae*)、百合科(*Liliaceae*)、葱属(*Allium*)、鸢尾科(*Iridaceae*)、旋花科(*Convolvulaceae*)、毛茛科(*Ranunculaceae*)、黄三七属(*Souliea*)、白头翁(*Pulsatilla*)、乌头(*Aconitum*)、唐松草(*Thalictrum*)、紫草科(*Boraginaceae*)、胡麻(*Sesamum*)、亚麻科(*Linaceae*)、荨麻属(*Urtica*)、车前科(*Plantaginaceae*)、玄参科(*Scrophulariaceae*)、马先蒿(*Pedicularis*)、十字花科(*Cruciferae*)、石竹科(*Caryophyllaceae*)、大戟科(*Euphorbiaceae*)、龙胆科(*Gentianaceae*)、拉拉藤属(*Galium*)、柳叶菜科(*Onagraceae*)、萝藦科(*Asclepiadaceae*)、桔梗科(*Campanulaceae*)、风铃草(*Campanula*)、报春花科(*Primulaceae*)、鹿蹄草科(*Pyrolaceae*)、川续断科(*Dipsacaceae*)、刺参属(*Morina*)、败酱科(*Valerianaceae*)、紫葳科(*Bignoniaceae*)、角蒿(*Incarvillea*)、远志属(*Polygala*)、补血草(*Limonium*)、狐尾藻(*Myriophyllum*)、香蒲(*Typha*)、黑三棱(*Sparganium*)

表 1 中国草原区表土花粉取样点位置及植被概况
Table 1 Coordinate of sampling sites and communities composition in the steppe of China

群落类型 Types of communities	编号 No.	位置 Sites	海拔 Altitude	主要植物种类 Species	植被盖度 (%)			百分比 (%)		
					灌木层	草本层	蒿属	藜科	禾本科	
沙蓬群落	C1	39°36' 25"N, 108°32' 34"E	1450	沙蓬, 黄蒿, 蒺藜, 狗尾草	90	90	90	90	90	
锦鸡儿群落	J1	39°43' 18"N, 108°37' 12"E	1440	锦鸡儿, 短花针茅, 隐子草, 棘豆, 胡枝子, 猪毛菜	50	80	30	30	40	
锦鸡儿群落	J2	39°43' 18"N, 108°37' 12"E	1350	锦鸡儿, 铁杆蒿, 沙蓬, 猪毛菜, 蒺藜, 画眉草, 狗尾草	70	40	15	25	35	
戈壁针茅-红砂群落	B1	38°22' 44"N, 105°57' 34"E	1205	戈壁针茅, 红砂, 珍珠, 冷蒿, 多根葱	20	15	15	28	35	
戈壁针茅-冷蒿群落	B2	39°14' 15"N, 107°30' 44"E	1400	戈壁针茅, 冷蒿	70	70	30	50	50	
戈壁针茅-隐子草群落	B3	39°10' 38"N, 107°55' 52"E	1550	戈壁针茅, 隐子草, 冷蒿, 多根葱, 胡枝子	80	80	10	90	90	
短花针茅-隐子草群落	D1	37°46' 29"N, 107°02' 35"E	1375	短花针茅, 隐子草, 骆驼蓬, 猪毛菜, 猫头刺, 胡枝子, 红柳	40	40	3	5	90	
短花针茅-老瓜头群落	D2	38°11' 41"N, 106°34' 20"E	1270	短花针茅, 老瓜头, 沙蓬, 猫头刺	40	40			80	
短花针茅-隐子草群落	D3	38°40' 28"N, 105°45' 47"E	1830	短花针茅, 隐子草, 多根葱, 棘豆, 珍珠, 红砂	70	70	5	5	95	
短花针茅-隐子草群落	D4	38°21' 11"N, 105°51' 36"E	1495	短花针茅, 隐子草, 长芒草, 猫头刺, 蓝刺头, 刺蓬, 猪毛菜	35	35	<5	<5	95	
短花针茅-珍珠群落	D5	38°24' 40"N, 105°44' 02"E	1570	短花针茅, 珍珠, 红砂, 隐子草, 猪毛草	35	30		40	45	
短花针茅-红砂群落	D6	39°21' 44"N, 107°06' 27"E	1440	短花针茅, 红砂, 隐子草, 节叶蒿, 黄蒿, 刺蓬, 猪毛草	40	30	20	10	70	
短花针茅-隐子草群落	D7	39°19' 47"N, 108°12' 44"E	1450	短花针茅, 隐子草, 冷蒿, 黄蒿, 羊草	70	70	20	<5	70	
隐子草群落	Y1	38°18' 23"N, 106°28' 48"E	1160	隐子草, 黄蒿, 短花针茅	30	30	40	<5	60	
隐子草群落	Y2	39°40' 15"N, 108°37' 42"E	1000	拂子茅	60	60	3	2	90	
羊草群落	Y3	39°19' 53"N, 108°12' 42"E	1455	羊草, 滨藜, 蒺藜	80	80		8	90	
油蒿群落	A1	39°21' 00"N, 106°57' 20"E	1270	油蒿, 刺蓬, 狗尾草	40	80	80	20	90	
油蒿群落	A2	39°13' 17"N, 107°11' 05"E	1330	油蒿, 猪毛菜, 狗尾草, 隐子草, 胡枝子, 牛枝子, 猫头刺	15	80	75	5	7	
油蒿群落	A3	39°09' 07"N, 108°01' 05"E	1400	油蒿, 刺蓬, 白草, 岩黄芩	85	70	75	5	7	
黄蒿群落	Ar1	42°30' 36"N, 117°14' 14"E	1520	黄蒿, 防风	70	70	80		3	
冷蒿群落	Ar2	41°54' 42"N, 115°52' 06"E	1330	冷蒿, 克氏针茅, 米口袋	60	60	85		10	
冷蒿+菊科群落	Ar3	41°20' 19"N, 112°51' 49"E	1640	冷蒿, 狗娃花	30	30	50	1	4	
百里香-长芒草群落	G1	39°51' 13"N, 109°39' 57"E	1510	百里香, 长芒草, 隐子草, 冷蒿, 铁杆蒿	70	70	20		20	
百里香-长芒草群落	G2	39°46' 54"N, 109°09' 02"E	1530	百里香, 长芒草, 隐子草, 冷蒿, 铁杆蒿, 胡枝子, 萎陵菜	50	50	30		15	
百里香-长芒草群落	G3	39°47' 42"N, 110°49' 19"E	1245	百里香, 长芒草, 隐子草, 冷蒿, 铁杆蒿, 棘豆, 胡枝子	80	80	30		20	
冷蒿-克氏针茅群落	L1	41°43' 15"N, 111°46' 26"E	1450	冷蒿, 克氏针茅	30	30	60		20	
冷蒿-克氏针茅群落	L2	41°42' 09"N, 111°46' 10"E	1480	冷蒿, 克氏针茅, 萎陵菜, 小叶锦鸡儿	30	30	45		40	
冷蒿-克氏针茅群落	L3	41°15' 18"N, 112°56' 41"E	1630	冷蒿, 克氏针茅, 藜科, 狗娃花, 胡枝子, 香薷	35	35	35	20	35	
克氏针茅群落	K1	41°33' 16"N, 112°17' 51"E	1540	克氏针茅, 冷蒿, 黄蒿, 狗娃花, 羊草, 豆科	20	20	6		83	
克氏针茅群落	K2	42°03' 01"N, 116°19' 04"E	1280	克氏针茅, 隐子草, 羊草, 冰草	60	60	1		99	
克氏针茅-冰草群落	K3	40°59' 21"N, 111°33' 56"E	1850	克氏针茅, 冰草, 羊草	95	95	2		90	
大针茅群落	S1	38°40' 16"N, 105°50' 43"E	2290	大针茅, 羊草,	100	100			85	
大针茅-冰草群落	S2	38°40' 46"N, 105°48' 45"E	2175	大针茅, 冰草,	100	100	3		90	
大针茅群落	S3	41°58' 09"N, 116°00' 31"E	1390	大针茅, 冰草, 冷蒿	70	70	5		90	
芨芨草群落	Z1	41°27' 02"N, 114°57' 16"E	1330	芨芨草, 羊草, 白刺	50	50	3		70	
碱茅群落	Z2	41°33' 49"N, 115°01' 59"E	1340	碱茅, 猪毛菜, 紫菀	60	60	5	40	20	
碱茅群落	Z3	41°35' 13"N, 115°29' 17"E	1375	碱茅, 苦菜	50	50			95	
杂类草甸草原群落	Z4	42°32' 20"N, 117°13' 13"E	1510	大针茅, 草, 蓬子菜, 唐松草, 地榆, 岩黄芩, 柴胡, 歪头菜	90	90			15	
苜蓿群落	Z5	42°30' 33"N, 117°14' 19"E	1520	草, 萎陵菜, 黄芩	50	50			70	

等。乔木植物花粉中以松、云杉、栎、桦、榆最为常见,最高百分比为 24.48%,最低为 0。草甸草原、典型草原东部及贺兰山周边地区,乔木花粉高于 7%,但多低于 15%,其它地区多在 5%以下。灌木花粉类型出现最多的是虎榛子、麻黄、白刺和胡颓子科,柽柳科、锦鸡儿在西部荒漠草原中出现较多。灌木花粉百分比多在 10%以下,贺兰山周围的荒漠草原群落在 5%~10%,其余地区多在 5%以下(图 2)。草本植物花粉是草原植被组合中最主要成分,60%样品中的草本植物花粉百分比在 90%以上,其余样品也多在 80%以上,以蒿、藜、麻黄、禾本科花粉百分比最高(多数占草本花粉总数的 80%),菊科、毛茛科、豆科、莎草科、蔷薇科、石竹科、蓼科、十字花科、虎耳草科、旋花科等也经常出现(图 2)。蕨类孢子数量很少,所有样品的百分含量均低于 1%。最常见的为水龙骨科(Polypodiaceae)、卷柏(*Selaginella*)、中华卷柏(*Selaginella sinensis*)等(图 2)。

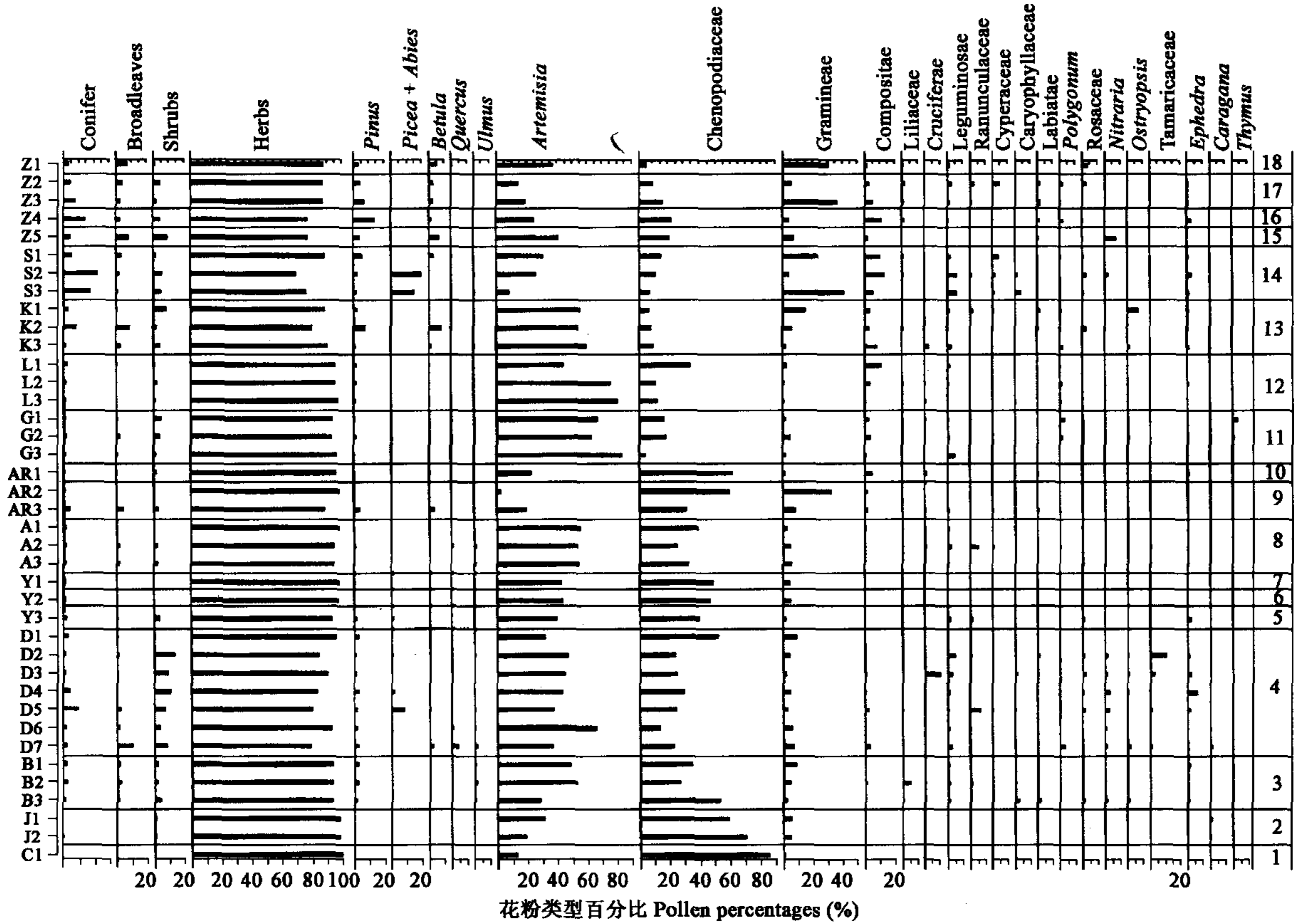


图 2 中国草原区主要花粉类型百分比图

Fig. 2 Pollen percentages of major pollen taxa in the steppe of China

1. 沙蓬群落 *Agriophyllum squarrosum* community;
2. 锦鸡儿 *Caragana* communities;
3. 戈壁针茅群落 *Stipa gobica* communities;
4. 短花针茅群落 *Breviflora* communities;
5. 羊草群落 *Leymus chinensis* community;
6. 拂子茅群落 *Calamagrostis* community;
7. 隐子草群落 *Cleistogenes* community;
8. 油蒿群落 *Artemisia ordosica* communities;
9. 冷蒿群落 *Artemisia frigida* communities;
10. 黄蒿群落 *A. scoparia* community;
11. 百里香+长芒草群落 *Thymus mongolicus*+*Stipa bungeana* communities;
12. 冷蒿+克氏针茅群落 *Artemisia frigida*+*S. krylovii* communities;
13. 克氏针茅群落 *S. krylovii* communities;
14. 大针茅群落 *S. grandis* communities;
15. 落草群落 *Koeleria cristata* community;
16. 杂类草草甸草原群落 *Steppe genuine herbosa* community;
17. 碱茅群落 *Puccinellia* communities;
18. 芨芨草群落 *Achnatherum splendens* community

3.2 不同植被类型花粉组合

不同植被类型花粉组合(图 3、图 4)分述如下:

(1)戈壁针茅群落(B1~B3) 群落盖度 35%~80%,其中禾本科约占 35%~90%,藜科 1%~28%,蒿属 10%~30%。花粉组合中藜科花粉百分比 26%~52.5%,蒿 28%~52%,禾本科仅 2.2%~8.5%,其它种类花粉 7%左右。

(2)短花针茅群落(D1~D7) 主要分布在暖温型荒漠草原^[14],植被盖度变化较大,35~70%,群落中禾本科植物大于 70%,蒿属低于 20%,藜科多低于 10%。花粉组合中禾本科约为 3.1%~9.0%,蒿属 31.3%~66.2%,藜科 13.7%~29.3%。

(3)锦鸡儿群落(J1~J2) 群落中锦鸡儿盖度 50%~70%,草本层盖度 40%~80%,藜科植物约 30%,蒿属低于 20%。花粉组合中藜科花粉百分比最高,约 59%~70%,其次为蒿属约 9%~31%,禾本科约 5%左右,其它花粉低于 2%。

(4) 隐子草荒漠草原群落(Y1) 植被盖度 30%，禾本科 60%，蒿属 40%。花粉组合中禾本科百分比为 1.8%，蒿属 39.4%，藜科 39.2%，其它草本主要有毛茛科、麻黄、黑三棱等。

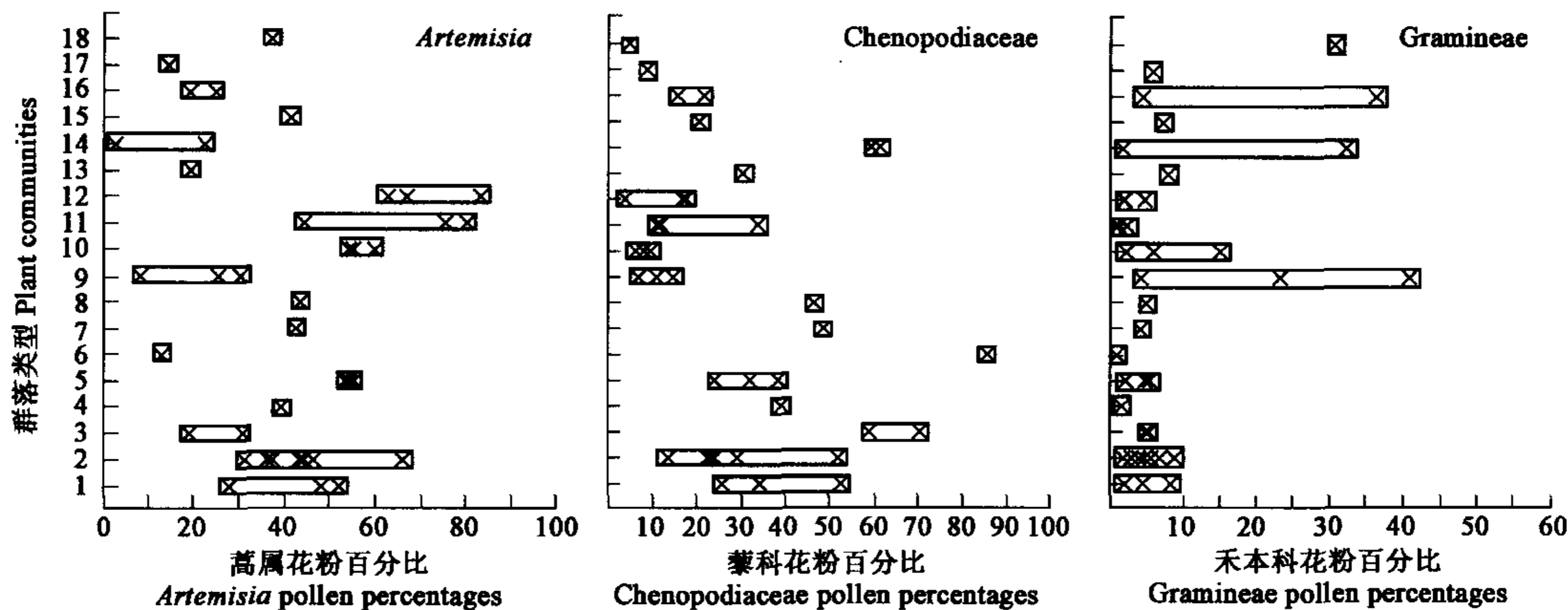
(5) 油蒿群落(A1~A3) 植被盖度 40%~85%，蒿类植物比例 75%~80%，藜科低于 20%，禾本科低于 10%。花粉组合中蒿 53.4%~55.4%，藜 24.1%~38.3%，禾本科 5.6%~2.3%。其它花粉低于 5%。

(6) 沙蓬群落(C1) 优势种以沙蓬和猪毛菜为主，植被盖度 90%。花粉组合中藜科花粉占绝对优势，约 85.7%，其次为蒿 12.9%，禾本科约 1%，其它花粉少见。

(7) 羊草群落(Y2) 植被盖度为 80%，禾本科植物占 90%以上。花粉组合中禾本科为 4.3%，蒿属 42.7%，藜科 48.6%，其它花粉低于 7%。

(8) 拂子茅群落(Y3) 植被盖度 60%，禾本科植物占 90%以上。花粉组合中禾本科 5.0%，蒿属 43.6%，藜科 46.5%，其它花粉低于 7%。

(9) 大针茅群落(S1~S3) 植被盖度 70%~100%，其中禾本科 85%以上，蒿 5%以下，藜科少见。花粉组合中蒿属 8.2%



1. 戈壁针茅群落 *Stipa gobica* communities;
2. 短花针茅群落 *S. Breviflora* communities;
3. 锦鸡儿群落 *Caragana* communities;
4. 隐子草群落 *Cleistogenes* community;
5. 油蒿群落 *Artemisia ordosica* communities;
6. 沙蓬群落 *Agriophyllum squarrosum* community;
7. 羊草群落 *Leymus chinensis* community;
8. 拂子茅群落 *Calamagrostis* community;
9. 大针茅群落 *Stipa grandis* communities;
10. 克氏针茅群落 *S. krylovii* communities;
11. 冷蒿+克氏某些茅群落 *Artemisia frigida* + *S. krylovii* communities;
12. 百里香+长芒草群落 *Thymus monogolicus* + *S. bungeana* communities;
13. 黄蒿群落 *Artemisia scoparia* community;
14. 冷蒿群落 *A. frigida* communities;
15. 芨芨草群落 *Achnatherum splendens* community;
16. 碱茅群落 *Puccinellia* communities;
17. 杂类草草甸草原群落 *Steppa genuine herbosa* community;
18. 落草群落 *Koeleria cristata* community; 下同 the same below

图 3 18 个草原群落中主要花粉类型百分比

Fig. 3 Major pollen taxa percentages in 18 steppe plant communities

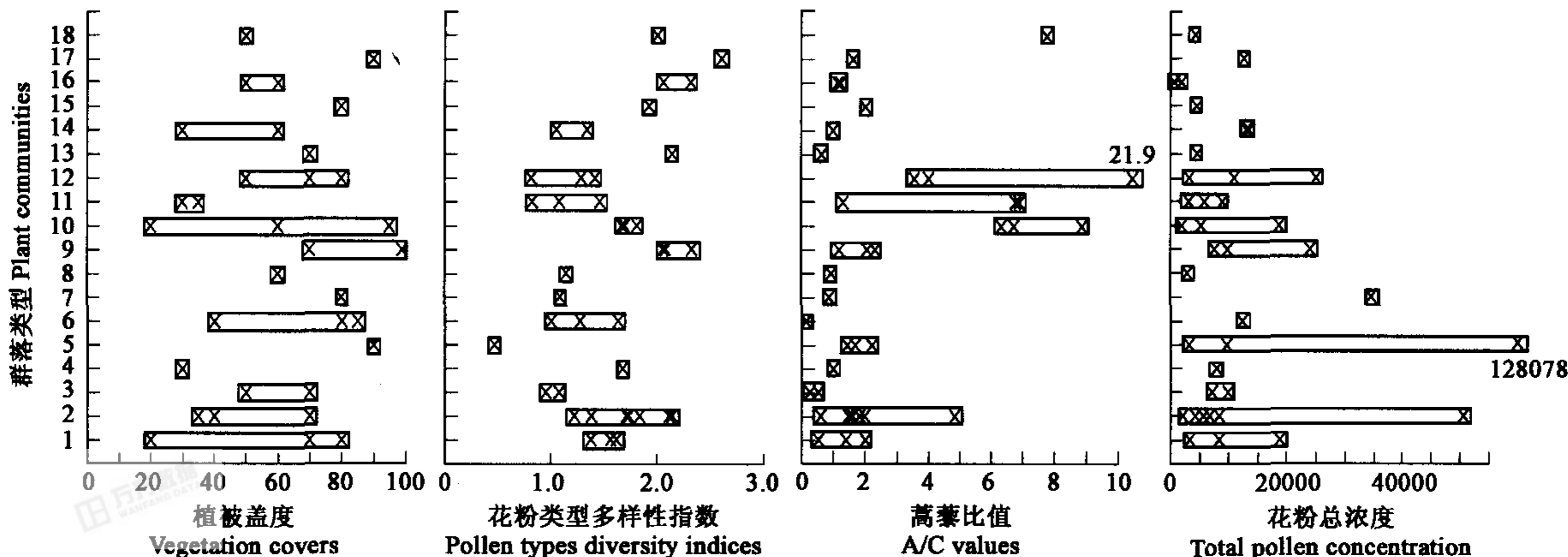


图 4 不同草原群落类型的植被盖度、花粉类型多样性指数、蒿藜比值及花粉总浓度

Fig. 4 Vegetation covers, pollen types diversity indices, A/C values and total pollen concentrations in 18 steppe communities

~30.3%, 藜科 6.8%~14.7%, 禾本科比例较高, 为 4.4%~40.1%, 菊科 5.5%~13.3%。

(10)克氏针茅群落(K1~K3) 植被盖度 20%~95%, 禾本科植物占植物总数的 90%以上。蒿属、藜科占植物总数 5%以下。花粉组合中蒿属 55.2%, 藜科 6.2%~9.5%, 禾本科 2.4%~15.1%。

(11)冷蒿+克氏针茅群落(L1~L3) 植被盖度 30%~35%, 克氏针茅 20%~40%, 冷蒿 35%~60%, 13 号样品藜科植物 20%, 其它两样品藜科植物少见。花粉组合中蒿属 44.4%~80.3%, 藜科 11.9%~33.81%, 禾本科 0.8%~2.5%。

(12)百里香+本氏针茅群落(G1~G3) 植被盖度 50%~70%, 百里香 30%~50%, 禾本科 15%~20%, 蒿属 20%~30%, 藜科少见。孢粉组合中蒿属 67.1%~83.3%, 藜科 3.8%~16.7%, 禾本科 1.9%~4.9%, 百里香低于 5%。

(13)黄蒿群落(Ar1) 植被盖度 70%, 蒿类植物占 80%, 禾本科低于 10%, 藜科仅散见。花粉组合中蒿 19.3%, 藜科 30.4%, 禾本科 8.1%。

(14)冷蒿群落(Ar2~Ar3) 植被盖度分别为 60%和 30%, 蒿属占 85%和 50%, 禾本科占 10%和 4%, 样品 Ar3 中菊科达 45%。花粉组合中蒿为 2.7%和 22.5%, 藜科 59.3%和 61.4%, 禾本科差别较大, 在 Ar2 中可达 32.3%, Ar3 中仅 1.9%。Ar2 样点为撂荒地, 禾本科花粉个体多数大于 40 μ , 高含量的禾本科百分比可能与前些年种植农作物有关, 同时也表明表土花粉不仅来源于现代植被, 而且可能来源于 5a 前、10a 前或更长时间前在当地生长的植被。

(15)芨芨草群落(Z1) 植被盖度 80%, 禾本科占 70%, 蒿属、藜科植物百分比低于 5%, 花粉组合中蒿属 41.5%, 藜科 20.5%, 禾本科 7.4%。

(16)碱茅群落(Z2~Z3) 植被盖度 50%~60%, 禾本科占 20%~90%, 蒿属低于 5%, 藜科植物在 Z2 中可达 40%, 在 Z3 中低于 1%。花粉组合中蒿属 19.2%~24.8%, 藜科 15.6%~21.6%, 禾本科 4.6%~36.4%。

(17)杂类草草甸草原群落(Z4) 植被盖度 90%, 禾本科占 15%, 蒿属低于 5%, 藜科植物低于 1%。花粉组合中蒿属 14.4%, 藜科 8.8%, 禾本科 5.9%, 地榆花粉可达 30%, 其它还有菊科、伞形科、蓼属、毛茛科等。

(18)落草群落(Z5) 植被盖度 50%, 禾本科占 70%, 蒿属低于 5%, 藜科植物低于 1%。花粉组合中蒿属 37.2%, 藜科 4.8%, 禾本科 30.7%。

4 无倾向性对应分析(DCA)与聚类分析

4.1 DCA 分析

为进一步认识不同环境条件下花粉组合与植被的关系, 选取花粉组合中出现频率较高的针叶树、阔叶树、红砂+白刺、蒿、藜科、禾本科、菊科、毛茛科、莎草科、石竹科、蓼科、麻黄、锦鸡儿、豆科、百里香、虎榛子+榛、唇形科、蔷薇科等 18 个花粉类型进行 DCA 排序。图 5a 是花粉类型 DCA 排序结果, 图 5b 是样品排序结果。DCA 排序前两个主轴的累积方差贡献率为 55.6%, 前 4 个轴的累积贡献率为 74.1%, 第 1 主轴的特征值为 0.22, 第 2 主轴的特征值为 0.19, 第 3、4 主轴特征值分别为 0.083 和 0.053, 明显低于第 1、2 主轴。表明样品主要由第 1、2 主轴所代表的环境因素控制。花粉类型 DCA 排序结果(图 5a)表明, 第 1 轴最低排序值为藜科, 最高排序值为莎草科, 藜科一般多生长于干旱环境, 莎草科更喜湿润环境, 因而第 1 主轴可能主要反映湿度的变化。第 2 轴最低排序值为百里香, 最高排序值为石竹科, 百里香多分布于暖温型草原区^[14], 石竹则更喜凉湿, 因此第 2 轴可能在一定程度上反映温度的变化。根据不同类型花粉在排序轴上的位置基本可以将花粉类型分为 3 组, 第 1 组包括禾本科, 针叶树, 莎草科和石竹科, 它们位于第 1、2 排序轴正方向, 在第 1 排序轴上的值大于 1。第 3 组包括藜、锦鸡儿、蒿及怪柳+白刺, 它们基本位于第 1 排序轴负方向, 代表较为干旱的气候环境。其它花粉类型处于 0 点附近为第 2 组, 反映环境意义不确定。根据样品 DCA 分析结果(图 5b), 可以将 39 个样品分为 4 个组。第 1 组(Group1): 包括典型草原东部及草甸草原区样品。第 2 组(Group2): 包括典型草原区中部及西南部样品。第 3 组(Group3)多数荒漠草原区样品。第 4 组(Group4)沙蓬群落及锦鸡儿群落样品, 代表的环境较为干旱或沙化严重, 其植被中禾本科所占比例较小。

4.2 聚类分析

聚类分析可以确定样品之间的相似及相异程度, 通过最小方差聚类, 其分组结果如图 6。聚类分析也可将全部样品分成 4 组, 每 1 组包括的样品与 DCA 基本相似, 只是聚类分析将 DCA 分析的两个散点 Ar1, Ar2 和第 3 组的两个样品 D7, B1(靠近第 4 组)归入第 4 组, 散点 Z1, D3, D1 归入第 3 组。

5 分析与讨论

5.1 花粉组合与群落种类组成和结构

尽管表土花粉与植被关系倍受古环境研究者重视, 但表土花粉受花粉产量、传粉方式、传播距离、花粉结构、植被类型、花粉源面积、气候、地形等诸多因素影响。使得依据花粉组合恢复群落结构变得非常困难^[12,13,21]。本研究还证实:

(1)同一草原区不同群落建群种、群落结构、盖度等的差异, 对花粉组合影响不大, 蒿、藜几乎是草原区所有样品花粉组合中最主要的花粉类型。

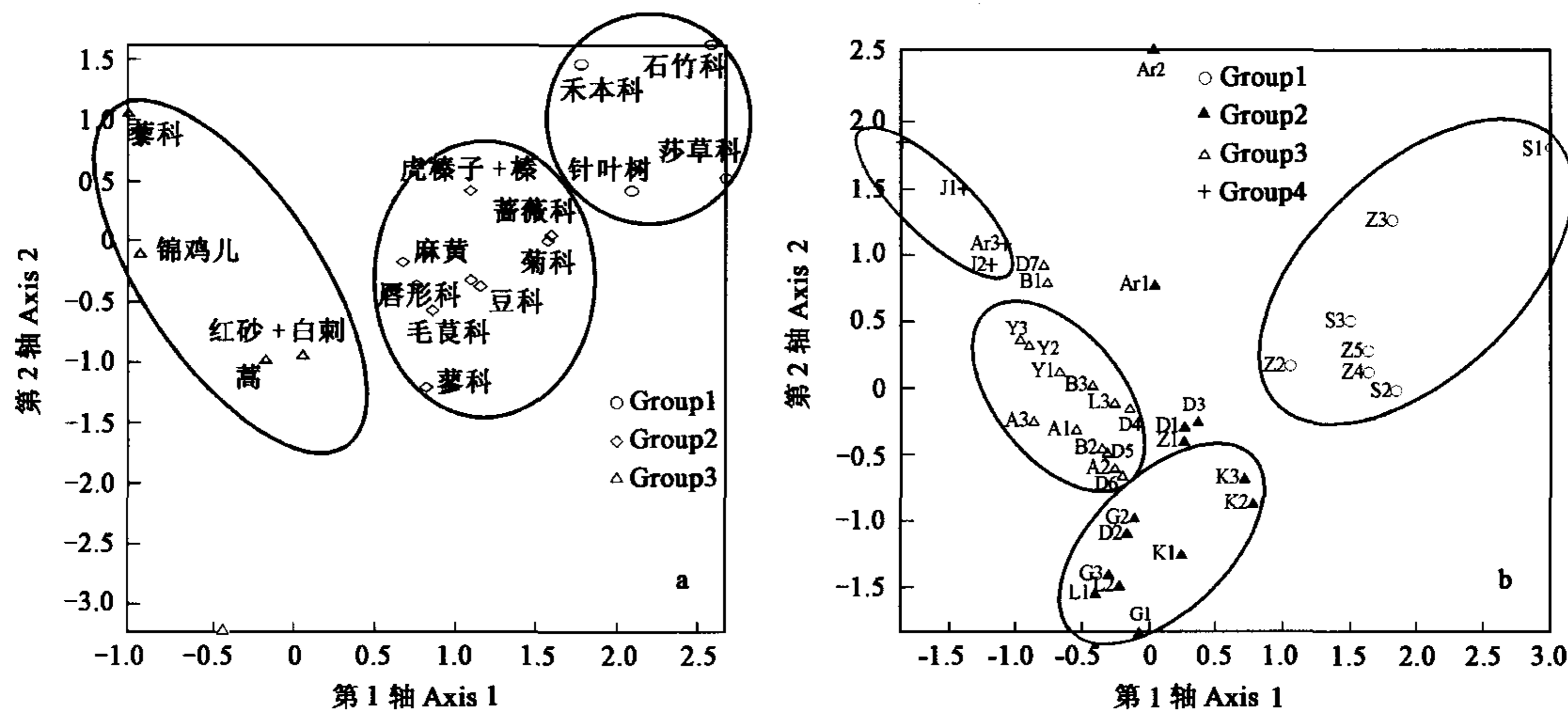


图5 中国草原区表土花粉数据 DCA 排序结果

Fig. 5 Result of DCA (Detrended Correspondence Analysis) ordination of surface pollen data in the steppe of China

a: 花粉类型排序结果 pollen taxa ordination; b: 样品排序结果 samples ordination

(2) 尽管禾本科植物在草原植被组成中是最主要的成分之一, 在全部 39 表土样品中, 有 29 个样品中禾本科为建群种或优势种, 但禾本科花粉百分比超过 10% (最高为 40%) 的仅有 6 个样品, 其它样品多在 10% 以下 (图 3、图 4)。且主要分布于草甸草原、典型草原东部或山地草原带。进一步验证了禾本科花粉的低代表性^[11,12]。其原因可能与草原禾本科植物大多数为多年生禾草, 繁殖方式以分蘖为主, 产生种子数量很少^[26], 因而其花粉产量必然很低有关。进行第四纪花粉分析时, 如遇以蒿、藜为主的孢粉组合, 推测其为草原植被是正确的, 但建群种或优势种不一定是蒿或藜, 也可能为禾草群落^[12]。

(3) 蒿属花粉属超代表性已被公认, 但如果蒿属为建群种, 且禾本科低于 10% 时, 蒿属在花粉中所占百分比要低于其在植被中的百分比, 表明蒿属花粉与植被关系为非线性。

(4) 作者还对表土花粉浓度进行了测定, 结果见图 4。从分析结果看, 表土花粉浓度与群落种类组成、植被盖度及结构等无明显关系。植被盖度相近的相似群落, 花粉浓度可相差较大; 而植被盖度相差较大的不同群落, 花粉浓度却相近; 植被盖度较高的群落, 花粉浓度有时却较低, 植被盖度较低的群落, 花粉总浓度有时反而很高。

5.2 花粉组合与植被类型

尽管依据花粉组合恢复植被群落结构非常困难, 但利用花粉组合恢复植被类型却是可行的。本研究样品中乔木花粉百分比多低于 5%, 即使在山地周边一般也不超过 15%, 且多为松、桦等超代表性类型。据此可将所有样品定位于无林区, 这与草原植被类型相一致。

依据花粉组合也可区分不同草原类型。由于草甸草原取样太少, 草甸草原与典型草原的区别还不很确定。但荒漠草原与典型草原的区别是明显, 主要表现为:

(1) DCA 分析表明, 典型草原区样品在第一排序轴的排序值多高于 0, 荒漠草原区样品的排序值小于 0 (图 5)。

(2) 尽管蒿、藜都是荒漠草原和典型草原花粉组合的主要成分, 但典型草原区藜科花粉百分比一般低于 25%, 荒漠草原区一般高于 25% (图 3)。仅蒿类群落中藜科花粉含量可高于 30%, 但这些蒿类群落多属于过度放牧或近几年退耕还牧之后恢复起来的植被类型, 放牧过度或人为影响可能是导致这一群落藜科花粉含量较高的重要原因之一。王琚瑜等对内蒙古中部典型草

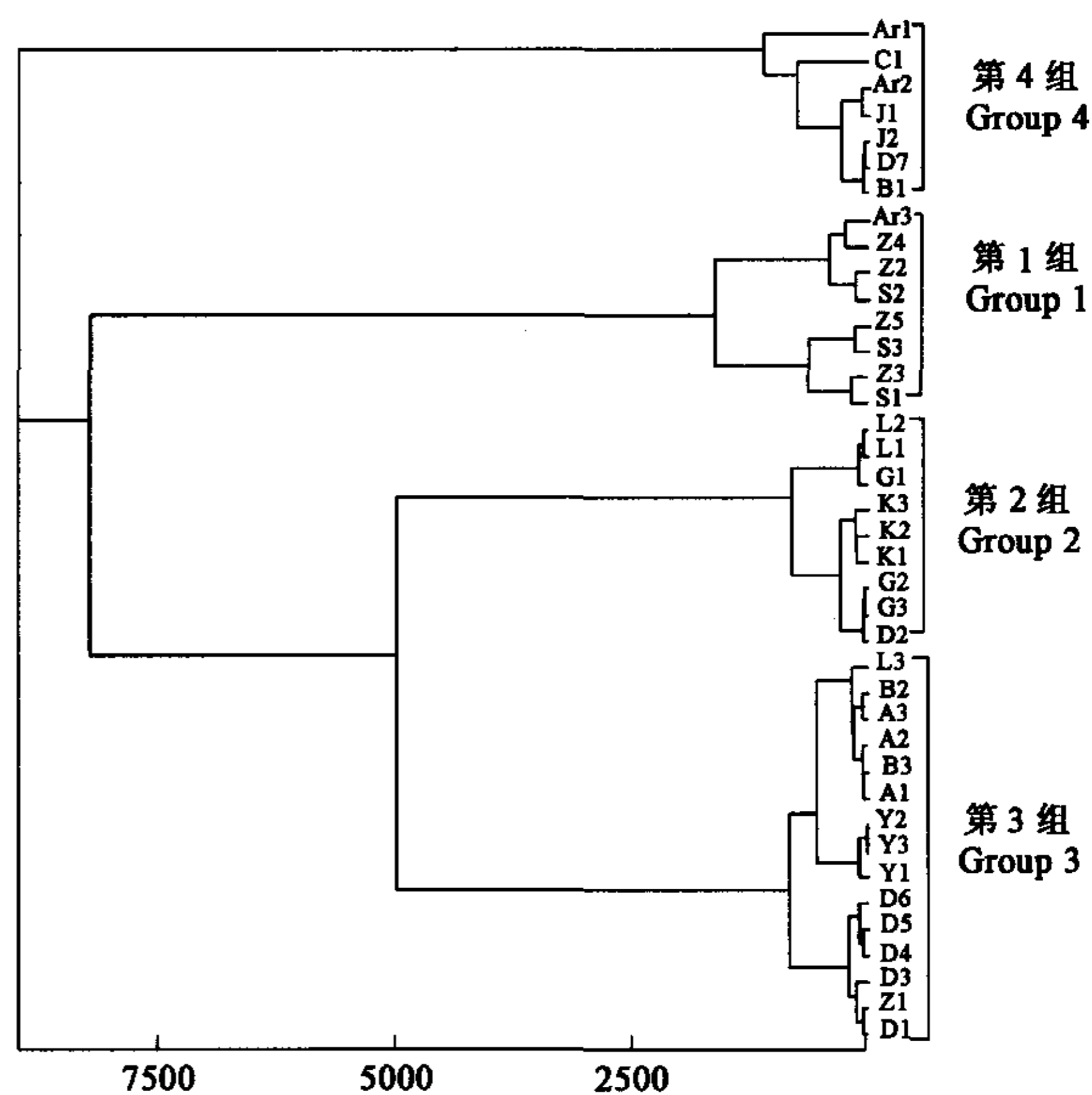


图6 中国北方草原表土样品聚类分析结果

Fig. 6 Result of cluster analysis of surface pollen samples in the steppe of China

原区的孢粉分析也表明,过度放牧或人类活动较严重地区藜科花粉含量较高,甚至超过蒿属所占比例^[13]。

(3)典型草原区地带性植被花粉组合中花粉类型多超过 30 个,花粉类型多样性指数大于 2。荒漠草原区地带性植被花粉类型一般少于 25 个,花粉类型多样性多样性指数小于 2。百里香草原区多已开垦为农田,仅个别地方(如田间地边)有小面积残留,因而其群落多样性指数大大降低(仅 0.8~1.4)。

(4)蒿藜比(A/C)多用作表示研究区干旱指标^[22]。新疆西昆仑、阿勒泰、柴窝堡等地的表土花粉研究表明:荒漠区 A/C 比值 0.5 以下,荒漠草原区 0.5~1.2,草原区一般大于 1^[23~25]。本研究结果与前人基本相近,荒漠草原群落 A/C 比值多在 0.5~2.0。典型草原区一般大于 2,典型草原区蒿类群落 A/C 比值较低,在 1 左右,可能与过度放牧和人类活动影响有关。

6 结论

(1)研究区多数样品乔木花粉百分比低于 5%,山地草原带及靠近森林边缘区,乔木花粉最高不超过 15%。与草原植被类型相一致。

(2)同一草原类型中,不同群落花粉组合相差不大。花粉浓度与植被盖度相关不明显。

(3)蒿属及藜科花粉是草原花粉组合最主要成分,二者在花粉组合中的比例与其在植被中的比例关系不大,而更可能与植被所处区域的干旱程度及人类活动的影响程度有关。人类活动越剧烈,或环境的干旱程度越高,蒿藜所占百分比越高。

(4)针茅等禾本科建群的群落中,尽管禾本科在植被中的比例较高(大于 50%),但其在表土花粉组合中的比例一般低于 10%,蒿藜为最主要花粉类型。

(5)蒿属花粉为超代表性类型,但当蒿属植物在植被中所占比例高于 60%,且禾本科在植被中所占比例低于 10%时,蒿属花粉在花粉组合中的百分比低于其在植被中百分比。

(6)尽管荒漠草原区与典型草原区花粉组合都以蒿、藜为主,但典型草原区藜科花粉百分比一般低于 25%,A/C 比值一般大于 2,花粉类型多样指数大于 2;荒漠草原区藜科花粉高于 25%,A/C 比值为 0.5~2,花粉类型多样指数为 1~2。

(7)DCA 分析和聚类分析可将典型草原区东部样品与中西部样品,典型草原区样品与荒漠草原区样品分开。

References:

- [1] Zhang J H, Kong Z C, Du N Q. Numerical characteristics of pollen assemblages of surface samples in Baihua Mountain and Dongling Mountain. *Marine Geology and Quaternary Geology*, 1996, **16**(3): 101~112.
- [2] Yu P T, Liu H Y. Surface pollen and its climatic significance from different altitudinal vegetation belts in the north slope of Xiaowutai Mountain, *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 1997, **33**(4): 475~484
- [3] Sun X J, Wu Y S. Modern pollen-rain of needle and broadleaved mixed forest in Changbai Mountains. *Acta Botanica Sinica*, 1988, **30**(5): 549~557.
- [4] Xu Y Q, Yan S, Jia B Q, et al. Relationship between the surface spore-pollen and surrounding vegetation on the south slope of Tianshan Mountains. *Arid land geography*, 1996, **19**(3): 24~30.
- [5] Li W Y, Yao Z J. A study on the quantitative relationship between Pinus pollen in surface sample and Pinus vegetation. *Acta Botanica Sinica*, 1990, **32**(12): 943~950.
- [6] Liu H P, Tang X C, Pan A D, et al. A study on the soil polynofloras of the south slope of Shonongia, central China. *Acta Sedimentologica ainica*, 2001, **19**(1): 107~112.
- [7] Yu G, Han H Y. Modern surface pollen rains in the Zijin Mountains, Nanjing. *Acta Phytocological Sinica*, 1995, **19**(1): 79~84.
- [8] Wu Y S, Sun X J. Numerical characteristics of pollen assemblages of surface samples from the Xishan Mountains, Kunming. *Acta Botanica Sinica*, 1987, **29**(2): 204~211.
- [9] Yao Z J. Surface pollen in Zhongtiao Mountains, Shanxi. *Acta Geographica Sinica*, 1989, **44**(4): 469~477.
- [10] Tong G B, Yang X D, Wang S M, et al. Spore-pollen dissemination and quantitative character of surface sample of Manzhouli-Dayangshu region. *Acta Botanica Sinica*, 1996, **38**(10): 814~821.
- [11] Li Y Y, Zhang X S, Zhou G S, et al. Quantitative relationships between several common pollen taxa and vegetation in the north of China. *Sinica Science Bulletin*, 2000, **45**(7): 761~764.
- [12] Liu H Y, Cui H T, Pott R, et al. The surface pollen of the woodland-steppe ecotone in southeastern Inner Mongolia, China. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 1999, **105**: 237~250.
- [13] Wang F Y, Song C Q, Sun X J. Study on surface pollen in middle Inner Mongolia. *Acta Botanica Sinica*, 1996, **38**(11): 902~909.
- [14] Expedition Group to Inner Mongolia and Ningxia, Chinese Academy of Sciences ed. *Vegetation of Inner Mongolia*. Beijing: Science Press, 1985. 427~641.
- [15] Liu L ed. *Vegetation of Hebei*. Beijing: Science Press, 1996. 244~253.

- [16] Wu C Y ed. *Vegetation of China*. Beijing: Science Press, 1980. 505~578.
- [17] Gao Z Z, Dai F H eds. *Vegetation of Ningxia*. Yinchuan: Ningxia Renmin Press, 1988. 52~61.
- [18] Feagri K and Iversen J. *Textbook of pollen analysis*. Oxford: Blackwell, 1989 (3rd.). 295.
- [19] Hill M O and Gauch H G. Detrended correspondence analysis, an improved ordination technique. *Vegetation*, 1980, **42**: 47~58.
- [20] Hong N ed. *Statistical Tutorial on SPASS For Windows*. Beijing: Electronic Industry Press, 2000. 284~288.
- [21] Pott, R. Der pollenanalytische Nachweis extensiver Waldbewirtschaftungen in den Haubergen des Siegerlandes, In: Behre K E ed. *Anthropogenic Indicators in Pollen Diagrams*. Balkema, Rotterdam, 1986. 125~134.
- [22] El-Moslimany A. The ecological significance of common nonarbooreal pollen example from dryland of the Middle East. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 1990, **64**: 343~350.
- [23] Wong C X, Sun X J, Chen Y S. Numerical characteristics of pollen assemblages of surface samples from the west Kunlun Mountains. *Acta Botanica Sinica*, 1993, **35** (1): 69~79.
- [24] Li W Y, Yan S. Study on Quaternary palynology in Chaiwopu Basin. In: Shi Y F, Wen Q Z and Qu Y G, eds. *The Quaternary climate-environment changes and hydrogeological condition of Chaiwopu Basin, Xinjiang*. Beijing: China Ocean Press, 1990. 46~47.
- [25] Yan S. Quaternary pollen and spore assemblages and vegetation succession in Xinjiang. *Arid land geography*, 1991, **14**(2): 1~9.
- [26] Zhong Y K, Bao Q H, Sun W, et al. The influence of mowing on the seed amount and composition in soil seed bank of typical steppe I: The source of seed rain and its falling. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis NeiMongol*, 1999, **30** (11): 733~738.

参考文献:

- [1] 张佳华, 孔昭宸, 杜乃秋. 北京地区百花山、东灵山表土花粉的特征分析. *海洋地质与第四纪地质*, 1996, **16**(3): 101~112.
- [2] 于澎涛, 刘鸿雁. 小五台山北台北坡植被垂直带的表土花粉及其气候意义研究. *北京大学学报*, 1997, **33**(4): 475~484.
- [3] 孙湘君, 吴玉书. 长白山针阔叶混交林的现代花粉雨. *植物学报*, 1988, **30**(5): 549~557.
- [4] 许英勤, 阎顺, 贾宝全, 等. 天山南坡表土孢粉分析及其与植被的数量关系. *干旱区地理*, 1996, **19**(3): 24~30.
- [5] 李文漪, 姚祖驹. 表土中松属花粉与植物间数量关系的研究. *植物学报*, 1990, **32** (12): 943~950.
- [6] 刘会平, 唐晓春, 潘安定, 等. 神农架南坡表土孢粉植物群初步研究. *沉积学报*, 2001, **19**(1): 107~112.
- [7] 于革, 韩辉友. 南京紫金山现代植被表土孢粉的初步研究. *植物生态学报*, 1995, **19**(1): 79~84.
- [8] 吴玉书, 孙湘君. 昆明西山林下表土中花粉与植被间的数量关系. *植物学报*, 1987, **29**(2): 204~211.
- [9] 姚祖驹. 山西中条山地区表土花粉分析. *地理学报*, 1989, **44**(4): 469~477.
- [10] 童国榜, 羊向东, 王苏民, 等. 满洲里-大杨树一带表土孢粉的散布规律及数量特征. *植物学报*, 1996, **38**(10): 814~821.
- [11] 李宜垠, 张新时, 周广胜. 中国北方几种常见表土花粉类型与植被的数量关系. *科学通报*, 2000, **45**(7): 761~765.
- [13] 王琰瑜, 宋长青, 孙湘君. 内蒙古中部表土花粉研究. *植物学报*, 1996, **38**(11): 902~909.
- [14] 中国科学院内蒙古宁夏综合队. *内蒙古植被*. 北京: 科学出版社, 1985. 427~641.
- [15] 刘濂主编. *河北植被*. 北京: 科学出版社, 1996. 244~253.
- [16] 吴征益主编. *中国植被*. 北京: 科学出版社, 1980. 505~578.
- [17] 高正中, 戴法和, *宁夏植被*. 银川: 宁夏人民出版社, 1988. 52~61.
- [20] 洪楠主编. *SPASS for Windows 统计分析教程*. 北京: 电子工业出版社, 1999. 284~288.
- [23] 翁成郁, 孙湘君, 陈因硕. 西昆仑地区表土花粉组成特征及与植被的数量关系. *植物学报*, 1993, **35**(1): 69~79.
- [24] 李文漪, 阎顺. 柴窝堡盆地第四纪孢粉学研究. 见: 施雅风等编, *新疆柴窝堡盆地第四纪气候环境变迁及水文地质条件*. 北京: 海洋出版社, 1990. 46~72.
- [25] 阎顺. 新疆第四纪孢粉组合特征及植被演替. *干旱区地理*, 1991, **14**(2): 1~9.
- [26] 仲延凯, 包青海, 孙维, 等. 割草对典型草原土壤种子库种子数量与组成的影响. *内蒙古大学学报(自然科学版)*, 1999, **30**(11): 733~738.