科学通报 2013 年 第 58 卷 第 30 期：3070 ~ 3078
论 文 www.scichina.com csb.scichina.com
《中国科学》杂志社 SCIENCE CHINA PRESS

# 新疆伊犁盆地表土花粉与植被关系

赵克良, 李小强*

中国科学院古脊椎动物与古人类研究所, 中国科学院脊椎动物演化与人类起源重点实验室, 北京 100044
* 联系人, E-mail: lixiaoqiang@ivpp.ac.cn

2012-11-18 收稿, 2013-04-16 接受, 2013-08-22 网络版发表
国家自然科学基金(41102113, 41172161)、国家重点基础研究发展计划(2010CB950204)和中国科学院古脊椎动物与古人类研究所重点部署项目(KN212431)资助

**摘要** 通过新疆伊犁盆地不同植被类型的56个表土样品分析与植被调查, 结合判别分析方法, 对伊犁盆地现代表土花粉组合及其与植被类型之间的关系进行了较为详细的研究. 结果表明: 伊犁盆地不同植被类型花粉组合差异明显; 12 种植物花粉类型在表土样品中最为丰富, 可以作为伊犁盆地古植被重建的重要组分; 蒿属/藜科(A/C)比值可用于反映山地垂直方向的气候干湿变化. 柏科灌丛表土中柏科花粉的含量在 1%以上. 云杉属花粉对云杉林的指示意义明显, 5%以上的云杉属花粉可表明周围雪岭云杉林的存在. 盆地中分布范围最广的亚高山草甸以具有较高含量的蒿属、藜科、禾本科、云杉属、菊科、蒲公英属和蚤缀属花粉组合为主要特征. 蒿属、藜科、禾本科和大麻科的花粉组合指示了山地草原的存在. 荒漠草原和胡杨林表土花粉均以蒿属和藜科占据主要比例. 蒿属荒漠中蒿属花粉含量在 60%以上, 藜科荒漠中藜科花粉含量在 65%以上. 相对湿润的亚高山草甸和山地草原 A/C 比平均值均大于 1.2, 相对干旱的柏科灌丛、荒漠草原、胡杨林和河漫滩草甸的 A/C 比平均值在 1~1.2 之间, 藜科荒漠中 A/C 比值低于 0.5.

**关键词**
天山
伊犁盆地
表土花粉
判别分析
蒿属/藜科

现代花粉及其与植被关系研究是正确解读花粉记录, 提高古植被与古气候研究精度的基础[1~5]. 新疆地处亚洲内陆干旱区, 生态环境脆弱, 对气候变化响应敏感, 已成为古植被与古气候研究的热点地区[6~9], 其表土花粉研究也备受到关注[10~18]. 阎顺和许英勤[12]研究了阿勒泰地区不同植被带的花粉组合与分布特征. 翁成郁等人[13]分析了西昆仑地区表土花粉组合特征与植被数量关系以及蒿属和藜科比值(A/C)的环境指示意义. 潘安定[14]研究了天山北坡不同植被类型的孢粉组合特征. 许英勤等人[15]讨论了天山南坡主要花粉含量与植物盖度间数量关系. 阎顺等人[16]、杨振京等人[17]研究了天山乌鲁木齐河源区垂直植被带的表土花粉散布特征. 近来, Luo 等人[18]较为详细地研究了新疆地区现代花粉分布特征和植被间的关系, 认为新疆地区不同的植被类型各具独特的花粉组合.

天山是横亘亚洲中部的主要山脉, 不仅具有复杂多样的垂直植被带, 也是新疆地区重要的自然地理和植被水平分带的界线. 目前, 天山地区的表土花粉研究主要集中于中、东部地区[14~17], 其西部至今仍然缺乏系统的表土花粉研究工作. 位于天山西部的伊犁盆地受西风环流影响显著, 是新疆降水最为丰富的地区之一, 森林和草甸植被茂盛, 垂直植被带发育相当完整, 是表土花粉研究的理想地区. 本文通过伊犁盆地主要植被类型中表土花粉细致研究, 提供了伊犁盆地具气候环境意义的重要植物类型和植被型, 探讨了表土花粉组合特征及其与植被类型间的关系, 为亚洲中部干旱区花粉、植被与气候的关系研

**引用格式**: 赵克良, 李小强. 新疆伊犁盆地表土花粉与植被关系. 科学通报, 2013, 58: 3070–3078
**英文版见**: Zhao K L, Li X Q. Modern pollen and vegetation relationships in the Yili Basin, Xinjiang, NW China. Chin Sci Bull, 2013, 58: 4133–4142, doi: 10.1007/s11434-013-5896-x

究提供基础数据.

## 1 研究区概况

伊犁盆地(42°41′~44°50′N, 80°09′~84°56′E)地处欧亚大陆腹地, 天山山脉西部, 是南天山和北天山之间的一个山间盆地. 伊犁地区现代气候属温带半干旱气候, 其高空一年四季盛行西风. 由于伊犁盆地西部敞开, 西来湿气流和温暖气流使得山地气候湿润而温和, 在中山带年降水量可达 800 mm. 平原区年平均降水量 200~500 mm, 年平均温度 2.6~9.2℃之间[19,20]. 伊犁河谷山地植被垂直带结构明显且相当完整, 由上向下依次发育: 高山垫状植被带、高山草甸带、亚高山草甸带、山地森林-草甸带、山地草原带和荒漠带[21,22](图 1). 各植被带描述如下:

(1) 高山垫状植被: 呈小块状或是斑块状分布于3000~4000 m 之间的高山带, 建群种有丛生囊肿草(*Thylacospermum caespitosum*) 和二花委陵菜(*Potentilla biflora*).

(2) 高山草甸带: 位于亚高山草甸带的上部, 一般分布在海拔2800~3500 m之间, 建群种为线叶嵩草(*Cobresia capilliforms*)、嵩苔草(*Carex stenocarpa* 和 *C. cobresiformis*)、珠芽蓼(*Polygonum viviparum*)等.

(3) 亚高山草甸带: 主要分布在海拔2000~2800 m之间. 主要建群种有钝斗篷草(*Alchemilla obtusa*)、紫斗篷草(*Alchemilla rubens*)、兰花老鹳草(*Geranium pseudosibiricum*)、细茎鸢尾(*Iris ruthenica*)等, 其他优势植物有高山早熟禾(*Poa annua*)、线叶嵩草、矮羊茅(*Festuca coelestis*)、高山唐松草(*Thalictrum alpinum*)、天山龙胆(*Gentiana tianschenica*)等.

(4) 雪岭云杉(*Picea schrenkiana*)林: 呈块状分布于海拔1700~2800 m处的阴坡或是峡谷侧坡, 与草原或草甸草原相结合分布在降水量最为丰富的中山带, 林下草类有毛异燕麦(*Helictotrichon pubescens*)、沟叶羊茅(*Festuca rupicola*)、天山异燕麦(*Helictotrichon tianschanicum*).

(5) 山地草原带: 主要分布在海拔 1000~2000 m之间. 主要群落为长羽针茅(*Stipa kirghisorum*)、细叶针茅(*S. lessingiana*)、紫花针茅(*S. purpurea*)草原. 其中常见草类有羊茅(*Festuca ovina*)、冰草(*Agropyron cristatum*)、天山赖草(*Leymus tianschanicus*)、二裂叶委陵菜(*Potentilla bifurca*)等.

(6) 荒漠草原带: 主要分布在海拔 1200 m 以下. 优势种由羊茅、伊犁绢蒿(*Seriphidium transiliense*)、白羊草(*Bothriochloa ischaemum*)、针茅(*S. capillata*)、镰芒针茅(*S. caucasica*)、新疆针茅(*S.sareptana*)、木地肤(*Kochia prostrata*)、角果藜(*Ceratocarpus arenarius*)等组成.

(7) 山地荒漠带: 可分为两种不同的植被类型. 第一种类型为蒿属(*Artemisia*)荒漠主要成分由伊犁绢蒿、木地肤、苔草(*Carex* spp.)以及萹蓄(*Polygonum aviculare*)组成, 大多在海拔 1200 m 以下. 第二种类型为藜科(Chenopodiaceae)荒漠, 主要成分是灰绿藜(*Chenopodium glaucum*)、角果藜、伊犁绢蒿、小蓬(*Nanopgyton erinaceum*)及木地肤等, 主要分布在海拔 800~1000 m 之间.

(8) 杨树林和河漫滩草甸: 主要分布河流漫滩及

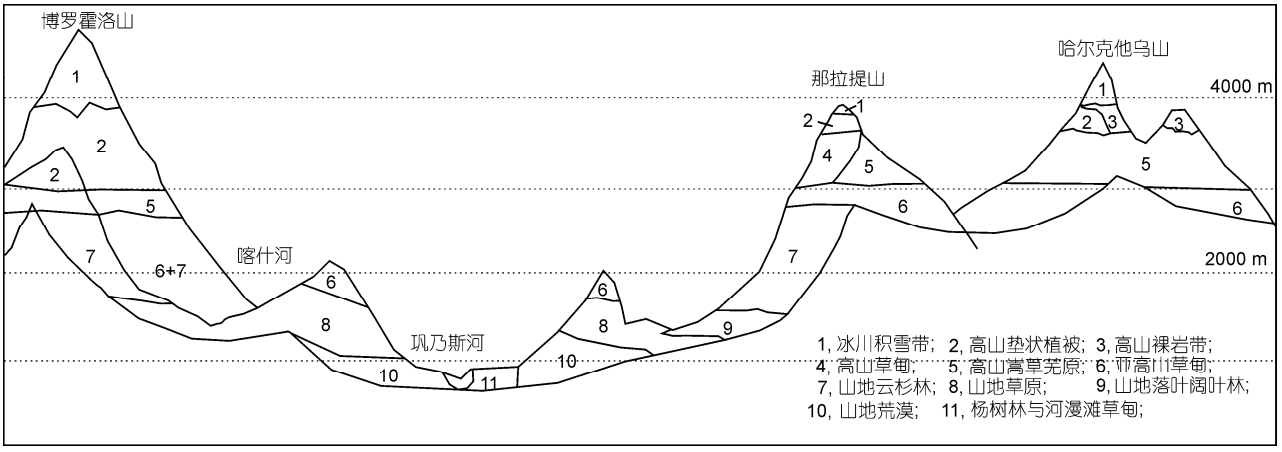



**图 1 伊犁盆地垂直植被带示意图**

据文献[21]修改

低山谷地, 地下水位较高. 主要有胡杨林(*Populus euphratica*)群落、芦苇(*Phragmites australis*)群落、芨芨草(*Achnatherum splendens*)群落和香蒲(*Typha*)群落等.

## 2 研究材料与方法

在伊犁盆地北部的科古琴山、婆罗霍洛山南坡以及中部的乌孙山不同植被带采集表土(地表 0~2 cm 土壤)样品 56 个(图 2), 其中包括柏科灌丛样点 3 个、雪岭云杉林 5 个、亚高山草甸 17 个、山地草原 12 个、荒漠草原 4 个、蒿属荒漠 7 个、胡杨林 2 个、河漫滩灌丛和草甸 4 个. 样点尽可能选取人类活动干扰少, 并具有代表性的地方. 云杉林中调查的样方面积为 10 m×10 m, 灌丛为 5 m×5 m, 草原及草甸群落为 1 m×1 m, 荒漠群落为 5 m×5 m, 每个表土花粉样品采用梅花 5 点法采集混合而成. 实验室内每个样品称取 30 g, 采用常规酸碱酸处理(10% HCl, 5% KOH, 40% HF), 用 7 μm 滤布过滤除去黏土物质[23]. 样品处理前加入石松孢子以计算每个样品的孢粉浓度. 每个样品最少统计 400 粒, 观察统计玻片 2 个以上.

判别分析是进行花粉和植被定量关系研究的主要方法之一[24~26]. 首先依据不同的植被类型将样品分为若干组, 利用各组中出现的花粉类型建立对应判别函数. 然后利用这些判别函数对每个样品进行交叉检验, 预测样品所属的植被类型. 若样品的预测结果与其所属植被类型一致, 则表示花粉组合与植被类型存在较好的对应关系. 利用 SPASS 19 软件完成判别分析.

## 3 结果

伊犁盆地 56 个表土样品共鉴定出 105 种花粉类型, 主要的乔木花粉类型有松属(*Pinus*)、云杉属(*Picea*)、桦属(*Betula*)、栎属(*Quercus*)、榆属(*Ulmus*)等. 灌木花粉主要有柏科(Cupressaceae)、柳属(*Salix*)、锦鸡儿属(*Caragana*)、麻黄属(*Ephedra*)、沙棘属(*Hippophae*)等. 草本主要有蒿属、藜科、禾本科(Poaceae)、菊科(Asteraceae)、紫苑属(*Aster*)、蒲公英属(*Taraxacum*)、蔷薇科(Rosaceae)、豆科(Fabaceae)、老鹳草属(*Geranium*)、莎草科(Cyperaceae)、蚤缀属(*Arenaria*)、黑三棱属(*Sparganium*)、香蒲属(*Typha*)等. 以每个样品中鉴定的所有乔木、草本和灌木花粉之和为基数计算各种花粉类型的百分含量. 将百分含量大于 0.5%的花粉类型绘制成百分比图谱(图 3).

### 3.1 不同植被类型的花粉组合特征

(1) 柏科灌丛中现代花粉组合以蒿属(39%)和藜科(35%)花粉为主. 而柏科花粉含量仅在 0.4%~2.7%之间, 平均值为 1.4%. 云杉属(8.3%)和禾本科(2.9%)花粉含量相对较高. A/C 比值在 0.7~1.9 之间, 平均为 1.2.

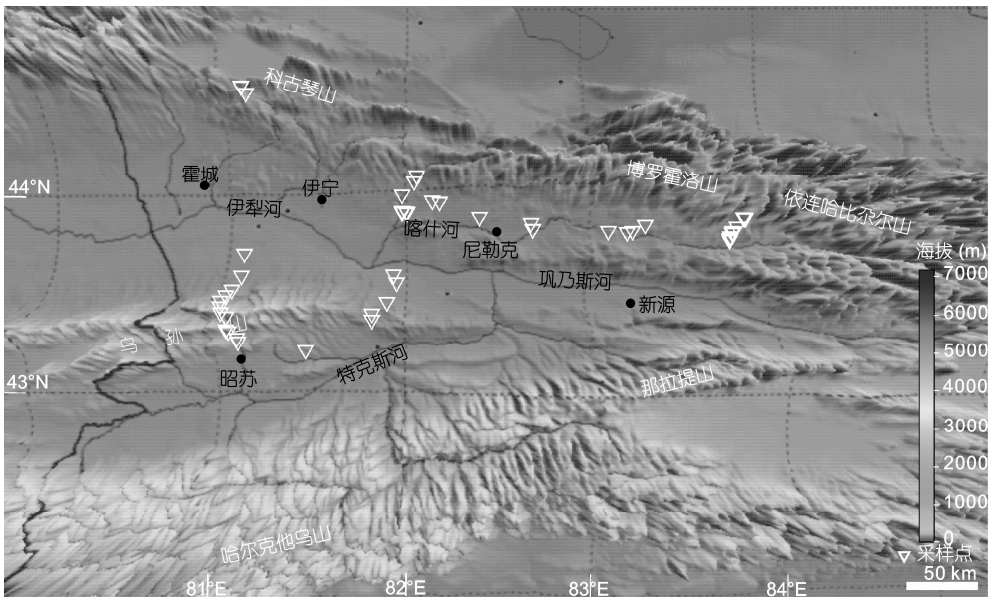



**图 2 伊犁盆地及表土花粉采样点分布图**

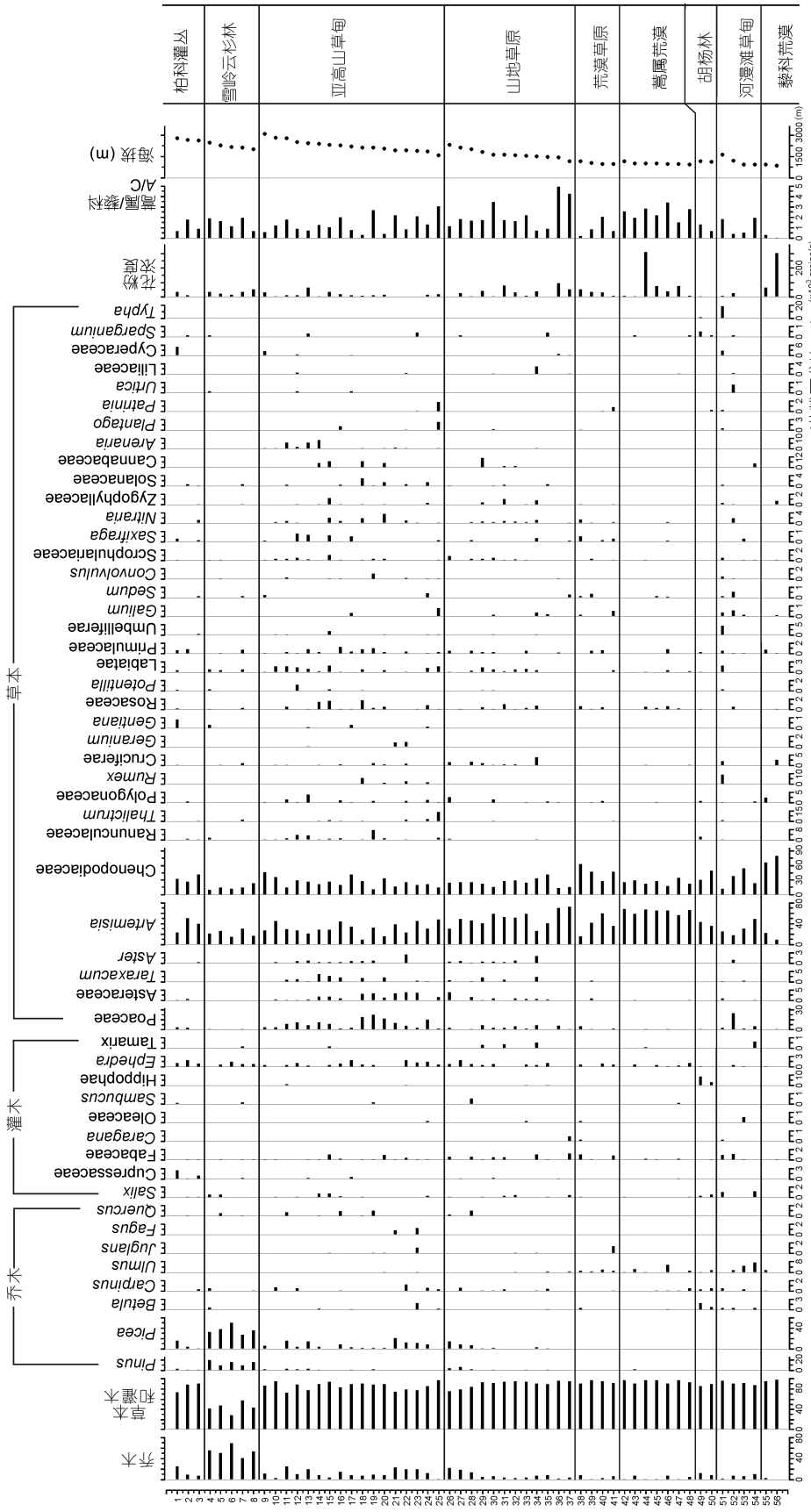



**图 3　伊犁表土花粉百分比图**

(2) 雪岭云杉林中云杉属花粉占主导地位, 其含量平均占到 37.9%, 最高可达 51.6%. 松属花粉含量占到 14.8%, 最高达 20.8%. 蒿属和藜科花粉含量明显减少, 分别占到 23%和 16.3%. 禾本科花粉含量占到 1%, 而其他种属平均含量均未超 1%. A/C 比值在 0.7~2 之间, 平均为 1.5.

(3) 亚高山草甸中花粉组合以高含量的蒿属(32.2%)、藜科(26.8%)和禾本科(9.7%)花粉为主要特征. 菊科、蒲公英属、毛茛科、唐松草属, 紫苑属、蓼科、酸模属和蚤缀属花粉含量高于它们在其他植被类型中的含量. 此外, 蔷薇科、唇形科、报春花科和虎耳草科亦占有少量比例. 莎草科在少量样品中出现, 最高含量达 2.9%. 由于亚高山草甸植被多与云杉林相结合, 云杉属花粉的平均含量可达 7.9%. A/C 比值在 0.4~3.1 之间, 平均为 1.4.

(4) 山地草原花粉组合中蒿属花粉(50.8%)含量较亚高山带明显升高, 而藜科(26.4%)花粉含量变化不大. 禾本科花粉含量平均为 3.8%, 最高达到 7.9%. 菊科(1%)、蒲公英(0.7%)花粉均较亚高山草甸带减少. 十字花科、大麻科、百合科含量在本带出现峰值, 云杉属(4%)含量明显减少. A/C 比值在 0.8~5 之间, 平均值为 2.2.

(5) 荒漠草原花粉组合以蒿属花粉(39.4%)和藜科花粉(47.6%)为主. 与山地草原带相比较, 蒿属花粉含量下降, 而藜科花粉含量含量上升. 禾本科花粉含量为 2.7%, 最高可达到 5.7%. 云杉属花粉含量已降到低值, 平均为 0.6%, 最高仅为 1.3%. 榆属花粉含量为 1.7%, 最高为 2.3%. A/C 比值在 0.3~2.1 之间, 平均值为 1.

(6) 蒿属荒漠中花粉种类相对简单. 蒿属花粉(65.1%)占据主导地位, 藜科花粉含量仅占 26.9%. 禾本科花粉含量明显降低, 平均为 0.8%. 榆属花粉平均为 1.8%, 最高可达 6%. 其余花粉含量几乎在 1%以下. A/C 比值在 1.6~3.5 之间, 平均为 2.5.

(7) 胡杨林中花粉组合以蒿属(40.4%)和藜科(41.4%)为主. 沙棘属含量为 6.2%, 香蒲花粉含量可达 2.1%. 榆属含量占到 2.1%, 但并未被发现杨属花粉. A/C 比值为 0.7~1.4, 平均为 1.1.

(8) 河漫滩草甸花粉组合仍以蒿属(31.6%)和藜科(33.6%)花粉占主要比例. 芦苇草甸中, 禾本科花粉含量可达 25.9%, 菊科花粉含量为 1.2%, 紫苑属为 1%. 香蒲群落中, 香蒲属含量达到 19.2%, 酸模属(9.4%)、唐松草(2.4%)、十字花科(2.4%), 伞形科(1.8%)占较高比例. 柽柳灌丛中, 榆属(7.7%)、柳属(1.2%)、禾本科(5.6%)、大麻科(5.1%)含量相对较高, 柽柳属花粉仅占 0.7%. A/C 比值在 0.5~2 之间, 平均为 1.2.

(9) 藜科荒漠花粉组合中藜科花粉含量占有绝对优势, 平均为 74.6%, 最高值达 81.7%. 蒿属花粉平均含量仅为 17%. 榆属(2%)、蓼科(2.7%)、十字花科(3%)占有一定比例. A/C 比值在 0.1~0.4 之间, 平均为 0.25.

### 3.2 判别分析

将伊犁盆地 56 个表土样品对应其植被类型分为 9 个组(A~I)(表 1), 对百分含量大于 2%的 28 种花粉类型进行判别分析. 判别分析结果对原始植被类型分组 98.2% (56 个中的 55 个样品)的样品进行了正确的分类(表 2), 这说明表土花粉能很好地反映采样点的植被类型. 前 2 个判别函数的特征值贡献率分别为 54.6%和 18.3%, 累计贡献了总变量的 72.9%. 利用前两个函数可将伊犁盆地的柏科灌丛(A)、雪岭云杉林(B)、荒漠草原(E)、胡杨林(G)、河漫滩灌丛草甸(H)、藜科荒漠(I)几种植被类型明显区分出来(图 4). 亚高山草甸(C)、山地草原(D)和蒿属荒漠(F) 3 种植被类型的质心相聚较近, 并且有一个山地草原植被样点被判定为蒿属荒漠植被类型. 这种现象出现的主要原因是 3 种植被类型中都具有较高的蒿属花粉含量.

## 4 讨论

### 4.1 伊犁盆地表土花粉组合与现代植被关系

伊犁盆地 9 个不同植被类型的 56 个表土花粉组合研究显示, 该区域的主要花粉类型包括云杉属、柏科、榆属、蒿属、藜科、禾本科、菊科、蒲公英属、

**表 1 伊犁盆地表土植被类型判别分析分组**

| 植被类型 | 分组 |
|---|---|
| 柏科灌丛 | A |
| 雪岭云杉林 | B |
| 亚高山草甸 | C |
| 山地草原 | D |
| 荒漠草原 | E |
| 蒿属荒漠 | F |
| 胡杨林 | G |
| 河漫滩灌丛草甸 | H |
| 藜科荒漠 | I |

**表 2　伊犁盆地表土花粉判别分析分组结果**

| 实际分组 | 样品数量 | 预测分组 | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | A | B | C | D | E | F | G | H | I |
| A | 3 | 3(100%) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| B | 5 | 0 | 5(100%) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| C | 17 | 0 | 0 | 17(100%) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| D | 12 | 0 | 0 | 0 | 11(91.7%) | 0 | 1(8.3%) | 0 | 0 | 0 |
| E | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4(100%) | 0 | 0 | 0 | 0 |
| F | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7(100%) | 0 | 0 | 0 |
| G | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2(100%) | 0 | 0 |
| H | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4(100%) | 0 |
| I | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2(100%) |

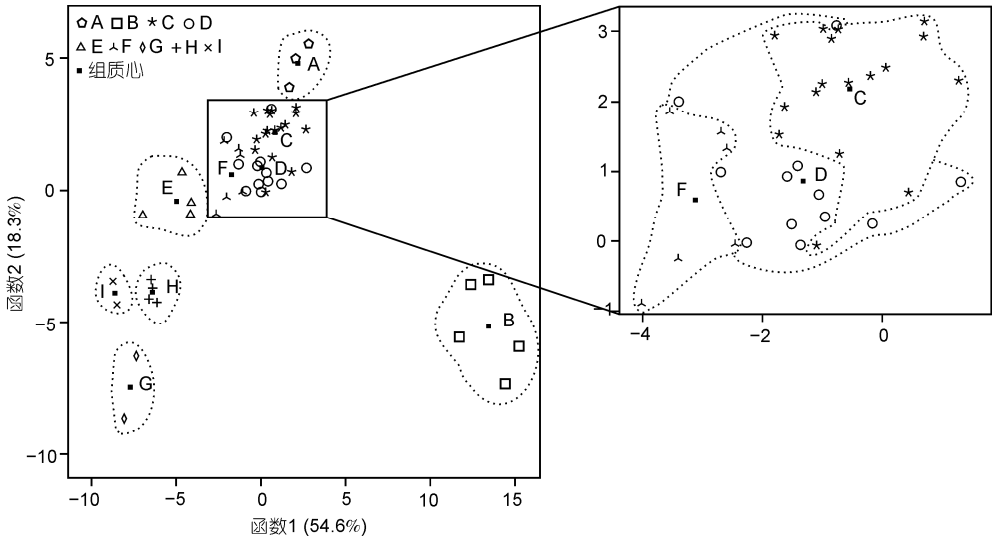



**图 4　伊犁盆地表土花粉判别分析结果**

蚤缀属、大麻科、沙棘属和香蒲属等. 以上 12 种植物花粉在伊犁盆地表土中最具有代表性, 可作为伊犁盆地古植被重建的重要组分. 伊犁盆地雪岭云杉林中花粉组合以云杉属花粉为主, 而其他植被类型(柏科灌丛、亚高山草甸、山地草原、荒漠草原、蒿属荒漠、胡杨林、河漫滩草甸和藜科荒漠)中蒿属和藜科花粉占据主要比例.

伊犁盆地柏科灌丛主要分布在海拔 2500~3000 m 的阳坡或是半阳坡, 建群种属有天山方柏枝和西伯利亚刺柏. 蒿属和藜科花粉含量之和在柏科灌丛表土中达 74%, 这种现象的产生很可能是谷风将低海拔蒿属和藜科花粉带到高海拔所导致. 柏科花粉含量很少, 最高不超过 3%, 显示柏科植物花粉并不能很好表达其母体植物的比例. 尽管柏科花粉在云杉林、亚高山草甸、山地草原等植被类型中都有出现, 且随着海拔降低而减少, 但只有在柏科灌丛中其百分比含量才超过 1%. 西昆仑山圆柏疏林表土样品研究表明, 5%左右的圆柏属花粉含量可以指示圆柏疏林的存在, 揭示了柏科花粉的低代表性[13].

伊犁盆地雪岭云杉林呈不连续的块状分布在山地的阴坡或是较湿润地带, 在中山带十分发育. 云杉林表土花粉中以较高含量的云杉属、松属、蒿属、藜科和禾本科花粉为主要特征, 其他花粉的含量均未超过 1%. 云杉林的这一花粉组合特征也使它在判别分析中很容易被区分出来(图 3). 伊犁盆地云杉属花粉含量在云杉林表土中最高, 随着样点与云山林距离的增加, 云杉花粉含量逐渐减少. 云杉属花粉含量在距云杉林 5 km 以内的柏科灌丛及亚高山草甸中可达 5%以上; 距离 5~10 km 之间的山地草原中云杉花粉含量在 1%~5%之间变化; 距离 10 km 以上的荒漠草原、蒿属荒漠、藜科荒漠中, 云杉花粉含量通常在 1%以下. 伊犁盆地雪岭云杉花粉散播特征及其代表

性与我国其他地区表土云杉花粉研究结论基本一致[13,27~31].

亚高山草甸是伊犁盆地植被分布面积最广的植被类型. 它以斗篷草属和早熟禾属、针茅属为建群种, 伴生多种杂类草. 本植被类型花粉组合仍然以蒿属和藜科含量最高, 但其最明显特征是丰富的花粉种类以及较高的禾本科含量(平均为 9.7%, 最高值达到 23.3%). 蔷薇科(斗篷草属)虽然是亚高山草甸的建群种, 但是蔷薇科花粉含量并不高(平均为 0.5%, 最高值仅为 1.9%), 明显低于蔷薇科植物在植被群落中的比重. 伊犁盆地亚高山草甸花粉组合中莎草科花粉含量较低(最高为 2.9%), 这与亚高山草甸带中莎草科植物比例较低有直接关系. 伊犁盆地亚高山草甸的花粉组合具有与西昆山地区类似的特征[13].

山地草原中的建群植物主要是针茅属、羊茅属等. 花粉组合以具有较高含量的蒿属、藜科和禾本科花粉为主要特征, 蒿属花粉含量为藜科的两倍左右. 本带较高的蒿属花粉含量很可能是由于谷风将低海拔蒿属花粉带到高海拔地区所导致. 天山南坡山地草原十分发育, 主要分布在海拔 2100~2800 m. 其花粉组合中禾本科花粉含量(18.9%)高于伊犁盆地, 而蒿属含量(17.8%)低于伊犁盆地[15]. 这种差异的产生可能与两地草原带分布的海拔以及气候不同有关.

伊犁盆地荒漠草原的建群种和优势种以针茅、伊犁绢蒿和木地肤为主. 表土花粉种类较亚高山草甸和山地草原明显减少, 植被盖度进一步降低, 花粉组合中蒿属与藜科花粉占绝对优势. 禾本科花粉含量降到 6%以下. 伊犁盆地荒漠草原的花粉组合特征与我国东部荒漠草原区十分类似, 也显示了蒿属和藜科植物花粉具超代表性, 而禾本科植物花粉具低代表性[28,30,32,33]. 伊犁盆地荒漠草原花粉组合与天山南坡有明显差异, 后者荒漠草原中麻黄属花粉含量可达 18.3%, 指示了更加干旱的环境[15].

伊犁盆地蒿属荒漠群落的建群种主要是伊犁绢蒿和木地肤. 蒿属花粉含量一般在 60%以上, 藜科花粉含量多在 30%以下. 藜科荒漠群落的建群种为灰绿藜、角果藜和伊犁绢蒿. 花粉组合中藜科花粉含量超过 65%, 占绝对优势, 蒿属含量不足 25%, 其他种类花粉含量很低. 胡杨林群落中花粉含量较高的是蒿属、藜科和沙棘属, 还含有少量香蒲属花粉, 但未见杨属花粉, 说明杨属花粉并不能代表其植物含量[12]. 花粉外壁薄、孢粉素含量低、易氧化、没有明显纹饰等因素都可能会导致其在花粉组合中发现较少[34].

低地河漫滩草甸主要分布在低海拔地区以及中山带的地势低洼处, 以芦苇群落、香蒲群落、柽柳群落为代表. 芦苇群落中禾本科花粉含量可达 25.9%, 远高于亚高山草甸和山地草原中的含量. 香蒲群落以高含量香蒲属(19.2%)和酸模属(9.4%)花粉为主要特征, 较好反映了其母体植物的比例. 柽柳群落中柽柳花粉(0.7%)含量并不高, 说明柽柳花粉并不能很好地指示其母体植物的存在[30]. 榆属花粉(7.7%)在柽柳群落中占较高比例, 这与该区域河谷中生长有榆属植物密切相关.

### 4.2 蒿/藜(A/C)比值及其气候指示意义

蒿属和藜科花粉是伊犁盆地表土花粉组合中最主要的组成部分. 蒿属和藜科植物主要分布在伊犁盆地低海拔地带的蒿属和藜科荒漠. 较高海拔的山地草原、亚高山草甸和柏科灌丛等植被类型中具有少量或几乎没有蒿属、藜科植物生长, 但两者花粉百分比之和在 55%以上. 这揭示蒿属和藜科花粉属超代表性类型, 具有指示区域生态意义, 但不能很好指示样点周围是否存在该植物[13,30]. 在伊犁盆地蒿属和藜科花粉百分含量随着海拔的升高而降低, 在高海拔地带的柏科灌丛中各自百分含量仍可超过 30%(图 3). 这种现象的产生与两者具有较高的花粉产率以及谷风的作用有直接联系.

蒿属花粉含量与藜科花粉含量比值, 称蒿/藜比, 通常以 A/C 表示. EL-Moslimany[35]基于中东地区藜科植物多为荒漠建群种而蒿属植物在草原植被中占有较高比例, 提出了 A/C 比值可作为反映干旱程度重要指标. 之后的现代花粉研究证实亚洲干旱-半干旱地区不同植被类型的 A/C 比值可作为湿度变化的有效代用指标[13,28,33,35~39]. 一般认为荒漠区 A/C 比值在 0.5 以下, 荒漠草原在 0.5~1.2 之间, 草原区一般大于 1[40]. 通常只有当蒿属与藜科花粉含量之和占优势时(>50%), 才认为两者比值具有指示湿度变化的意义[40]. 伊犁盆地云杉林表土中蒿属与藜科花粉之和均小于 50%, 所以在此未对其 A/C 比值进行讨论.

伊犁盆地 56 个表土花粉的 A/C 比值在 0.1~5 之间变化, 最低值出现在藜科荒漠中, 最高值出现在山地草原中(图 5). 同一种植被类型 A/C 比值存在较大的波动, 如亚高山草甸中 A/C 比值在 0.4~3.1 之间, 山地草原在 0.8~5 之间. 所有的植被类型中, 只有藜

科荒漠的 A/C 平均值低于 0.5, 而其他植被类型均高于 0.5. 相对湿润的亚高山草甸和山地草原等植被型中, A/C 平均值大于 1.2; 而相对干旱的柏科灌丛、荒漠草原、胡杨林、河漫滩草甸等植被类型, A/C 平均值一般在 1~1.2 之间. 蒿属荒漠植被处于比较干旱的环境, 但 A/C 平均值可达到 2.5. 因此, 若不考虑蒿属荒漠的影响, 伊犁盆地的 A/C 比值先是随海拔升高而升高然后降低, 在中山带的山地草原和亚高山草甸区域达到最高. 伊犁盆地垂直植被带中的 A/C 比值可作为山地垂直方向上气候干湿程度变化的重要指标.

已有研究表明 A/C 比值变化有可能受到人类活动的影响, 例如人类过度放牧等活动引起草原退化, 藜科植物大量生长可能导致 A/C 值偏低[33,41]. 伊犁盆地表土花粉记录也显示人类活动可能对 A/C 比值有重要影响, 如亚高山草甸植被类型中有两个样品点 A/C 比值低于 0.5, 主要原因可能是它们处于哈萨克人的主要牧区之内. 另外, 以伊犁绢蒿为建群种的蒿属荒漠植物类型单调, 而伊犁绢蒿花粉产率高, 会产生较高的 A/C 比值(平均达 2.5). 尽管蒿属荒漠生境较藜科荒漠湿润, 但与亚高山草甸、山地草原等植被类型比较仍相对干旱, 因此, 在利用 A/C 比值进行气候环境重建时, 应谨慎由绢蒿荒漠产生的 A/C 高值可能带来的误判.

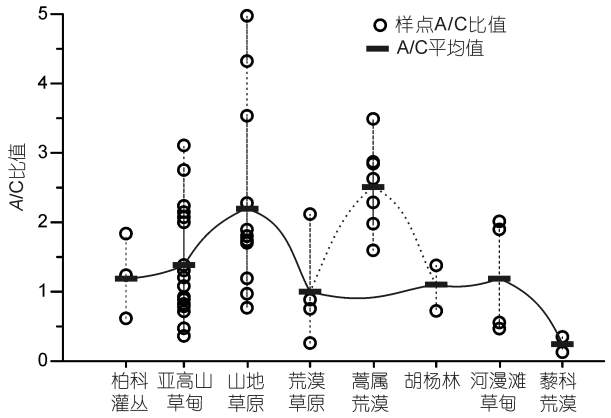



**图 5 伊犁盆地各植被类型的 A/C 比值**

## 5 结论

(1) 伊犁盆地柏科灌丛、雪岭云杉林、亚高山草甸、山地草原、荒漠草原、蒿属荒漠、胡杨林、河漫滩草甸、藜科荒漠等 9 种植被类型中, 云杉属、柏科、榆属、蒿属、藜科、禾本科、菊科、蒲公英属、蚤缀属、大麻科、沙棘属和香蒲属等 12 种植物花粉含量较高, 可以作为古植被重建的重要组分, 其中又以蒿属、藜科、云杉属和禾本科花粉最为重要.

(2) 通过花粉组合的定性或定量分析可以区分伊犁盆地不同植被类型. 1%以上含量的柏科花粉可指示柏科灌丛的存在, 5%以上的云杉花粉含量表明周围 5 km 以内存在云杉林. 蒿属-藜科-禾本科-云杉属-菊科-蒲公英属-蚤缀属等多样性花粉组合显示了亚高山草甸植被的存在. 山地草原以蒿属-藜科-禾本科-大麻科花粉组合为主要特征. 荒漠草原植被具有较高含量的藜科与蒿属花粉. 胡杨林中含有较高的蒿属、藜科和沙棘属花粉. 蒿属荒漠中蒿属花粉含量超过 60%, 而藜科荒漠中藜科花粉含量大于 65%. 香蒲群落中香蒲属和酸模属花粉含量最高.

(3) 伊犁盆地中蒿属和藜科花粉的比值(A/C 比值)可作为山地垂直方向上气候干湿变化的有效指标. 最干旱的藜科荒漠中 A/C 比值低于 0.5, 相对干旱的柏科灌丛、荒漠草原、胡杨林和河漫滩草甸中 A/C 比平均值在 1~1.2 之间. 相对湿润的亚高山草甸和山地草原植被类型中, A/C 比值平均大于 1.2. 较干旱的蒿属荒漠中 A/C 比平均值可达 2.5, 在利用 A/C 比值进行气候重建时需结合花粉组合特征予以正确判别.

**致谢** 感谢澳大利亚 ANSTO 环境研究所 John Dodson 教授在数据分析中给予的指导. 童国榜研究员帮助花粉分析, 刘汉斌、高强参与野外采样工作, 在此一并致谢.

## 参考文献

1 Aderson P M, Bartlein P J, Brubaker B, et al. Modern analogues of late-Quternary pollen spectra from the western interior of North America. J Biogeogr, 1989, 16: 573–596

2 郑卓, 黄康有, 许清海, 等. 中国表土花粉与建群植物地理分布的气候指示性对比. 中国科学 D 辑: 地球科学, 2008, 38: 701–714

3 Zhao Y, Herzschuh U. Modern pollen representation of source vegetation in the Qaidam Basin and surrounding mountains, north-eastern Tibetan Plateau. Veget Hist Archaeobot, 2009, 18: 245–260

4 Lu H Y, Wu N Q, Liu K, et al. Modern pollen distributions in Qinghai-Tibetan Plateau and the development of transfer functions for reconstructing Holocene environmental changes. Quat Sci Rev, 2011, 30: 947–966
5 Xu Q H, Tian F, Bunting M J, et al. Pollen source areas of lakes with inflowing rivers: Modern pollen influx data from Lake Baiyangdian, China. Quat Sci Rev, 2012, 37: 81–91
6 Sun J M, Xu Q H, Huang B C. Late Cenozoic magnetochronology and paleoenvironmental changes in the northern foreland basin of the Tian Shan Mountains. J Geophys Res, 2007, 112, doi: 10.1029/2006JB004653
7 Liu X Q, Herzschuh U, Shen J, et al. Holocene environmental and climatic changes inferred from Wulungu Lake in northern Xinjiang, China. Quat Res, 2008, 70: 412–425
8 Chen F H, Yu Z C, Yang M L, et al. Holocene moisture evolution in arid central Asia and its out-of-phase relationship with Asian monsoon history. Quat Sci Rev, 2008, 27: 351–364
9 Li X Q, Zhao K L, Dodson J, et al. Moisture dynamics in central Asia for the last 15 kyr: New evidence from Yili Valley, Xinjiang, NW China. Quat Sci Rev, 2011, 30: 3457–3466
10 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: 1–9
11 阎顺. 新疆表土松科花粉分布的探讨. 干旱区地理, 1993, 16: 1–9
12 阎顺, 许英勤. 新疆阿勒泰地区孢粉组合. 干旱区研究, 1989, (1): 26–33
13 翁成郁, 孙湘君, 陈因硕. 西昆仑地区表土花粉组合特征及其与植被的数量关系. 植物学报, 1993, 35: 69–79
14 潘安定. 天山北坡不同植被类型的表土孢粉组合研究. 地理学报, 1993, 13: 227–233
15 许英勤, 阎顺, 贾保全, 等. 天山南坡孢粉分析及其与植被的数量关系. 干旱区地理, 1996, 19: 24–30
16 阎顺, 贾宝全, 许英勤, 等. 乌鲁木齐河源区植被及表土花粉. 冰川冻土, 1996, 18(增刊): 264–273
17 杨振京, 孔昭宸, 阎顺, 等. 天山乌鲁木齐河源区大西沟表土花粉散布特征. 干旱区地理, 2004, 27: 543–547
18 Luo C X, Zheng Z, Tarasov P, et al. Characteristics of the modern pollen distribution and their relationship to vegetation in the Xinjiang region, northwestern China. Rev Palaeobot Palynol, 2009, 153: 282–295
19 李江风. 新疆气候. 北京: 气象出版社, 1991. 1–205
20 叶玮. 新疆伊犁地区自然环境特点与黄土形成条件. 干旱区地理, 1999, 22: 9–16
21 中国科学院新疆综合考察队, 中国科学院植物研究所. 新疆植被及其利用. 北京: 科学出版社, 1978. 1–266
22 中国植被编辑委员会. 中国植被. 北京: 科学出版社, 1980. 749–1037
23 Faegri K, Ivrsen J. Textbook of Pollen Analysis. 3rd ed. Oxford: Blackwell, 1989. 295
24 Liu K B, Lam N S N. Paleovegetational reconstruction based on modern and fossil pollen data: An application of discriminant analysis. Ann Ass Am Geogr, 1985, 75: 115–130
25 Reese C A, Liu K B. A modern pollen rain study from the central Andes region of south America. J Biogeogr, 2005, 32: 709–718
26 Li Q, Ge Q S, Tong G B. Modern pollen-vegetation relationship based on discriminant analysis across an altitudinal transect on Gongga Mountain, eastern Tibetan Plateau. Chin Sci Bull, 2012, 57: 4600–4608
27 李文漪. 云杉花粉散播效率问题. 植物学报, 1991, 33: 792–800
28 Liu H Y, Cui H T, Pott R, et al. The surface pollen of the woodland-steppe ecotone in southeastern Inner Mongolia, China. Rev Palaeobot Palynol, 1999, 105: 237–250
29 阎顺, 孔昭宸, 杨振京, 等. 新疆表土中云杉花粉与植被的关系. 生态学报, 2004, 24: 2017–2022
30 许清海, 李月丛, 阳小兰, 等. 中国北方几种主要花粉类型与植被定量关系. 中国科学 D 辑: 地球科学, 2007, 37: 192–205
31 Lu H Y, Wu N Q, Yang X D, et al. Spatial pattern of Abies and Picea surface pollen distribution along the elevation gradient in the Qinghai-Tibetan Plateau and Xinjiang, China. Boreas, 2008, 37: 254–262
32 李宜垠, 张新时, 周广胜, 等. 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: 761–765
33 李月丛, 许清海, 阳小兰, 等. 中国荒漠区东部花粉对植被的指示性研究. 科学通报, 2005, 50: 1356–1364
34 Campbell I D. Quaternary pollen taphonomy: Examples of differential redeposition and differential preservation. Palaeogeogr Palaeoclimatol Palaeoecol, 1999, 149: 245–256
35 El-Moslimany A P. Ecological significance of common nonarboreal pollen: Examples from drylands of the Middle East. Rev Palaeobot Palynol, 1990, 64: 343–350
36 黄赐璇, 艾利斯·冯·康波, 弗朗索瓦士·多布雷梅. 西藏西部表土孢粉研究. 干旱区地理, 1993, 15: 75–84
37 Cour P, Zheng Z, Duzer D, et al. Vegetational and climatic significance of modern pollen rain in northwestern Tibet. Rev Palaeobot Palynol, 1999, 104: 183–204
38 Herzschuh U, Tarasov P, Wünnemann B, et al. Holocene vegetation and climate of the Alashan Plateau, NW China, reconstructed from pollen data. Palaeogeogr Palaeoclimatol Palaeoecol, 2004, 211: 1–17
39 尚雪, 李小强, 安芷生, 等. 青海湖流域表土花粉分析. 中国科学 D 辑: 地球科学, 2009, 39: 1288–1296
40 孙湘君, 杜乃秋, 翁成郁, 等. 新疆玛纳斯湖盆周围近 14000 年以来的古植被古环境. 第四纪研究, 1994, 14: 239–248
41 王琫瑜, 宋长青, 孙湘君. 内蒙古中部表土花粉研究. 植物学报, 1996, 38: 902–909