

DOI: 10.5846/stxb201806011222

廖梦娜, 谭斌, 倪健, 李凯. 立地尺度植被重建模型 MARCO POLO 应用的若干问题分析——以柴达木盆地为例. 生态学报, 2019, 39(21): - .  
Liao M N, Tan B, Ni J, Li K. Problems associated with applicability of the stand-scale vegetation reconstruction model MARCO POLO: A case study in the Qaidam Basin. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(21): - .

# 立地尺度植被重建模型 MARCO POLO 应用的若干问题 分析

——以柴达木盆地为例

廖梦娜, 谭斌, 倪健\*, 李凯

浙江师范大学化学与生命科学学院, 金华 321004

**摘要:** 立地尺度植被定量重建是对利用孢粉进行古气候和古环境研究的一个重要补充。一些新的定量重建模型相继提出, 但其适用性仍需进一步验证。本研究以柴达木盆地 24 个样方表土孢粉及 4 个湖泊表层沉积孢粉为研究对象, 利用 MARCO POLO 模型重建立地尺度植被盖度并分析该模型的适用性。研究表明, 由于地形开阔且风力较大, 干旱区的大型湖泊沉积物中往往容易富集超代表性孢粉, 使这些孢粉的区域信号增强, 从而降低孢粉类型筛选的正确率。若湖泊与样方方向的距离较近, 湖泊表层孢粉能够更好地反映样方所在区域的孢粉特征, 则有利于提高孢粉类型筛选的正确率。MARCO POLO 模型中的孢粉代表性  $R$  值是将孢粉含量转化为植被盖度的关键参数。由于受到孢粉自身生产、传播、保存以及外部环境等多方面因素的影响, 不同样方的  $R$  值可能差异很大。因此在运行该模型前需保证  $R$  值能够准确反映立地尺度中各孢粉类型与植被盖度的关系。本研究仅在以柴达木盆地为代表的干旱区对该模型进行检验, 今后仍需要在不同植被或气候区进行深入研究以全面了解该模型的适用条件。

**关键词:** MARCO POLO; 立地尺度; 植被重建; 孢粉; 柴达木盆地

## Problems associated with applicability of the stand-scale vegetation reconstruction model MARCO POLO: A case study in the Qaidam Basin

LIAO Mengna, TAN Bin, NI Jian\*, LI Kai

College of Chemistry and Life Sciences, Zhejiang Normal University, Jinhua 321004, China

**Abstract:** Stand-scale vegetation reconstruction is an important component of pollen-based paleoclimate and paleoenvironment research. Recently, several new quantitative reconstruction models have been reported, the applicability of which needs to be validated before these models can be widely used. In this study, our aim was to assess the applicability of the MARCO POLO model in an arid region (the Qaidam Basin). Top soil pollen collected from 24 plots and surface pollen collected from four lakes were used as “local” and “regional” pollen records, respectively. Our analyses demonstrated that lake size is one of the important factors that influence the reliability of reconstruction. Large lakes in arid regions tend to accumulate over-represented pollen types, leading to higher percentages of these pollen types in lake sediments than in soil samples. The over-represented pollen will probably be identified as regionally derived pollen by the model and incorrectly excluded from the “local” pollen records. Distance between lake and plot can also have a prominent effect. If they are close to each other, lake surface pollen can better reflect the vegetation composition of the plot, which will

**基金项目:** 国家重点研发计划子课题(2016YFC0502101-01); 国家自然科学基金青年基金(41701218)

**收稿日期:** 2018-06-01; **网络出版日期:** 2019-00-00

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: nijian@zjnu.edu.cn

contribute to obtaining more robust results from present/absence analyses. Pollen representation ( $R$ ) is a key parameter for the conversion of pollen percentage to vegetation coverage.  $R$  can vary considerably among different plots because it is strongly influenced by pollen productivity, dispersal, preservation, and many other external factors. Therefore, it is crucial to estimate  $R$  values correctly for the study region. To gain a more comprehensive understanding of the applicability of the MARCO POLO model, further studies need to be conducted in regions with diverse climates or vegetation.

**Key Words:** MARCO POLO; stand-scale; vegetation reconstruction; pollen; Qaidam Basin

利用孢粉进行古植被重建是研究过去气候和环境变化的重要途径<sup>[1]</sup>。大流域的古植被重建虽然能够反映某一特定时期区域尺度的植被变化,却很难代表立地尺度的植被特征。近十年来,立地尺度植被定量重建研究发展迅速,特别是以 REVEALS (Regional Estimates of VEgetation Abundance from Large Sites)<sup>[2]</sup> 和 LOVE (LOcal VEgetation Estimates) 模型<sup>[3]</sup> 应用最为广泛<sup>[4-7]</sup>。该模型基于立地重建算法 LRA (Landscape Reconstruction Algorithm),需要可靠的孢粉产量和传播特征信息才可以进行模拟。然而,绝大部分地区缺乏这些信息,要获取必须通过十分严谨、精细和费时的野外调查研究<sup>[8]</sup>。近年来,一些替代方法相继被提出,如 MARCO POLO (MAnipulating ReConstruct Pollen of Local Origin)<sup>[9]</sup> 和 EDA (Extended Downscaling Approach)<sup>[10]</sup>。MARCO POLO 方法不依赖孢粉的传播函数,而是通过对比现代区域孢粉数据(如湖泊和泥炭表层)和样方表土孢粉数据,筛选出立地尺度孢粉类型,再对这些孢粉类型进行代表性  $R$  值校正,从而获得立地尺度不同植物盖度百分比<sup>[9]</sup>。

目前,该方法较好地运用于德国东北部的森林地区<sup>[9]</sup>,其他地区尚未见报道。该模型适用于何种植被类型、湖泊(或泥炭)表层孢粉能够作为多大范围的参照背景、湖泊(或泥炭)大小对结果是否有影响等,都有待于进一步考究。虽然中国湖泊和泥炭分布广泛且表土孢粉研究十分丰富,但是花粉代表性  $R$  值的研究仍主要集中在干旱-半干旱地区<sup>[11-18]</sup>。Zhao 等<sup>[19]</sup> 和 Li 等<sup>[17]</sup> 在青藏高原东北部柴达木盆地做了较详细的表土花粉和样方植被调查,计算了该地区主要花粉的代表性  $R$  值。本文以这些研究为基础,运用 MARCO POLO 模型重建立地尺度植被盖度并将其与植被调查结果相比较,分析其适用条件。

## 1 研究区概况

研究区位于青藏高原东北部柴达木盆地(36—37.3°N,96.0—100.8°E,2770—4090 m a.s.l.)。区域植被以高寒嵩草草甸、温带半乔木荒漠、温带半灌木和矮半灌木荒漠、温带禾本科和杂类草盐生草甸、亚高山落叶阔叶灌丛、温带丛生禾本和苔原草原为主,寒温带、温带山地针叶林和栽培植物零星分布<sup>[20]</sup>。区域降水主要集中在夏季,年均降水量差异很大,自东向西从>560 mm/a 降至<20 mm/a<sup>[19]</sup>;夏季气温梯度与降水量模式相反,自东向西由 7.8°C 升至 17.5°C<sup>[19]</sup>。研究点分布于区域降水—温度梯度方向上,基本涵盖了区域主要植被类型。

## 2 材料与方法

本研究基于已发表的 4 个湖泊(青海湖、尕斯库勒湖、克鲁克湖、泡子)的表层沉积孢粉数据,24 个 5×5 样方植被盖度调查资料及其表土孢粉数据<sup>[19]</sup>(图 1)。

样方与湖泊的距离通过 R 语言程序包 `fields` 中的 `rdist.earth` 函数计算获得<sup>[21]</sup>。利用 R 语言程序包 `discover` 中的 `MarcoPolo` 函数<sup>[9]</sup> 重建表土点周围立地尺度植被覆盖度。该模型要求输入的表土和湖泊孢粉类型一致,并具有对应孢粉的代表性  $R$  值,因此本研究选择菊科(Asteraceae)、莎草科(Cyperaceae)、毛茛属(*Ranunculus*)、豆科(Fabaceae)、禾本科(Poaceae)、蒿属(*Artemisia*)、藜科(Chenopodiaceae)、麻黄属(*Ephedra*)、白刺属(*Nitraria*)共 9 种主要孢粉进行重建。为了分析湖泊大小、湖泊与表土点间距离对重建结果的影响,本研究共进行 4 组模拟:(A)以青海湖表层沉积孢粉作为区域孢粉参照,重建 24 个表土点(S1—

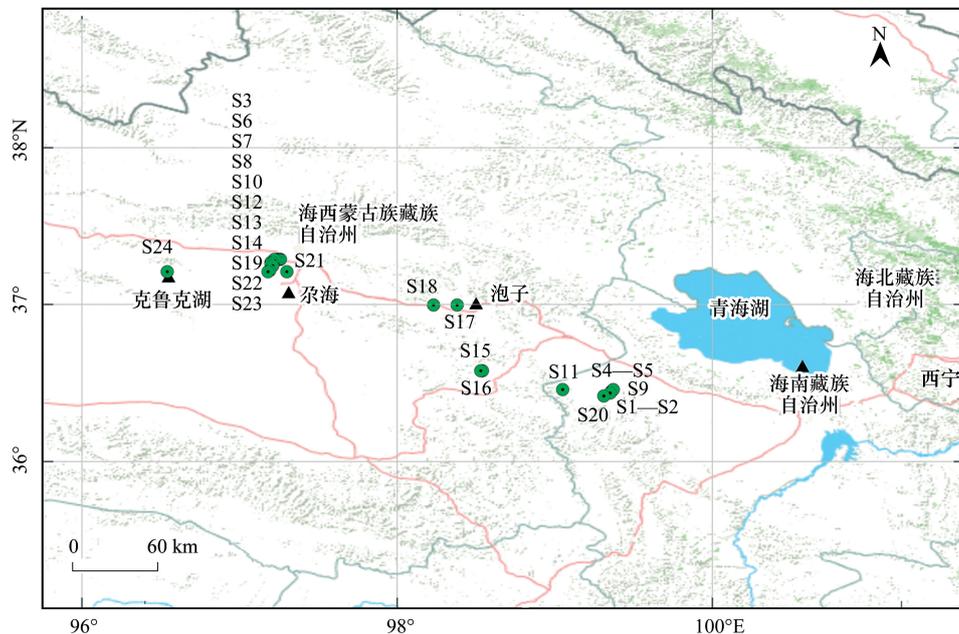


图 1 研究区及湖泊(三角形)、表土样点(圆形)位置

Fig.1 Locations of the study region, lakes ( triangle) and surface soil samples ( circle)

S1—S24: 分别表示 24 个样方及表土孢粉采样点位置

S24) 立地植被盖度; (B) 以克鲁克湖表层沉积孢粉作为区域孢粉参照, 重建样点 S17 和 S18 周围立地植被盖度; (C) 以泡子表层沉积孢粉作为区域孢粉参照, 重建样点 S24 周围立地植被盖度; (D) 以尕斯库勒湖表层沉积孢粉作为区域孢粉参照, 重建 11 个样点 (S3, S6, S7, S8, S10, S12, S13, S14, S19, S21, S22) 周围立地植被盖度。

MARCO POLO 模型中, 样方表土孢粉和湖泊表土孢粉分别作为局地 and 区域孢粉记录。模型运算主要包括两个步骤: 一是筛选孢粉类型中能更多反映局地植被特征的孢粉类型, 二是利用筛选出来的花粉类型的代表性  $R$  值进行立地尺度植被盖度的重建。为了分析 MARCO POLO 方法对立地尺度花粉的筛选及植被重建的效果, 本研究进行两次模拟: 第一次模拟将所有花粉代表性  $R$  值设置为 1, 目的是获得局地孢粉类型的筛选结果; 第二次则使用实际调查计算得到的花粉代表性  $R$  值进行局地植被盖度的重建。通过与实际调查样方的植被类型和盖度进行对比, 可分别分析模型的筛选和重建效果。

### 3 结果与分析

#### 3.1 表土孢粉类型筛选结果

筛选结果表现为两类错误: 第一类是样方中实际存在的植被类型, 但在表土样品中对应的孢粉被筛选掉, 第二类是样方中实际不存在的植被类型, 但在表土样品中对应的孢粉未被筛掉。4 组模拟结果显示, 不论以哪个湖泊表层沉积孢粉作为区域孢粉参照, 几乎无法完全正确筛出实际表土样品中的孢粉类型 (表 1): (A) 组筛选错误率达 39%, 其中豆科和蒿属主要为第一类错误, 占 14%; 蒿属、莎草科、禾本科、藜科、麻黄属、白刺属主要为第二类错误, 占 25%; (B) 组筛选错误率较低, S17 和 S18 仅分别筛错白刺属和禾本科; (C) 组中禾本科出现第二类错误, 而蒿属出现第一类错误; (D) 组的筛选错误率为 37%, 其中以豆科和禾本科为代表的第二类错误占 12%, 以菊科、莎草科、蒿属、白刺属为代表的第二类错误占 25%。

S1—S24 距离青海湖 108—364 km; S17、S18 分别距离泡子 10.7 km 和 24 km; S24 距克鲁克湖 3.5 km; S3、S6、S7、S8、S10、S12、S13、S14、S19、S21、S22 距尕斯库勒湖 14—24.5 km。以湖泊与表土样点间距离作为自变量的统计分析结果表明, 距离与筛错比例呈很弱的正相关关系 (图 2)。总体来看, (B)—(D) 组的筛选结果优于 (A) 组的筛选结果 (图 3)。

表 1 孢粉类型筛选结果

花粉类群 Pollen taxa		Table 1 Results of presence/absence analysis																																	
		(A)组 Group (A)												(D)组 Group (D)																					
		S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16	S17	S18	S19	S20	S21	S22	S23	S24										
菊科 Asteraceae	-	-																																	
莎草科 Cyperaceae																																			
毛茛属 <i>Ranunculus</i>																																			
豆科 Fabaceae																																			
禾本科 Poaceae																																			
蒿属 <i>Artemisia</i>																																			
藜科 Chenopodiaceae																																			
麻黄属 <i>Ephedra</i>																																			
白刺属 <i>Nitraria</i>																																			
花粉类群 Pollen taxa		(B)组 Group (B)												(C)组 Group (C)																					
		S17	S18	S19	S20	S21	S22	S23	S24	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16	S17	S18	S19	S20	S21	S22	S23	S24		
菊科 Asteraceae																																			
莎草科 Cyperaceae																																			
毛茛属 <i>Ranunculus</i>																																			
豆科 Fabaceae																																			
禾本科 Poaceae																																			
蒿属 <i>Artemisia</i>																																			
藜科 Chenopodiaceae																																			
麻黄属 <i>Ephedra</i>																																			
白刺属 <i>Nitraria</i>																																			

“-”表示样品中实际存在的植被类型但表土样品中的孢粉未被筛选掉(第一类错误);“+”样品中实际不存在的植被类型但表土样品中的孢粉未被筛选掉(第二类错误)

### 3.2 区域孢粉信号排除结果

根据 MARCO POLO 的计算原理,筛选出的局地植被孢粉类型百分比需要减掉该孢粉类型在区域样品中的百分比,以排除区域花粉来源的影响。虽然校正后的孢粉含量实际上比原始含量都低,但经过百分比换算后,校正后含量较原始含量降低,说明显著受到区域孢粉来源影响,校正后含量较原始含量增加,则说明受区域来源影响较弱。(A)组校正结果显示:蒿属受区域来源影响最为显著,24 个样品中 23 个模拟百分比原始百分比低;藜科受到区域来源影响较显著的样品占总样品的一半;豆科受显著影响的样品占 37.5%;而菊科、莎草科、禾本科、毛茛属、麻黄属和白刺属受到的影响较小(图 4)。

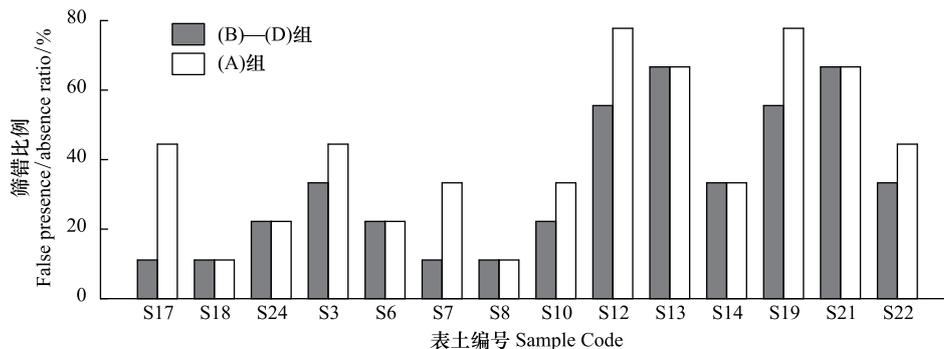


图 3 (A)组与(B)一(D)组筛选结果对比

Fig.3 Result comparison between presence/absence analysis of Group (A) and Groups (B)一(D)

(A)组校正结果与(B)一(D)组的校正结果存在不同程度的差异(图 5)。S24、S13 和 S14 的差异表现在不同孢粉类型(如禾本科、蒿属、白刺属)的百分比含量上。S18、S6、S10 的差异也主要表现在不同类型孢粉的百分比上,同时还受到孢粉筛选结果的影响。样品 S17、S3、S7、S8、S12、S19、S21、S22 的差异则来源于筛选结果的不一致导致的各孢粉类型百分比含量出现明显差别。

### 3.3 立地尺度植被盖度重建结果

鉴于(B)一(D)组的筛选结果较好,本研究仅对这 3 组共 14 个表土样点进行立地尺度植被盖度重建(图 6)。将重建结果与实际植被盖度进行线性回归拟合分析( $n=82$ ),其拟合函数斜率为 0.74,可决系数  $R^2=0.62$ ,均方根误差 RMSE(Root Mean Square Error)=13.1,说明重建结果并不理想。对不同孢粉类型进行线性回归拟合结果如表 2 所示。麻黄属由于只存在于一个样品中,无法进行统计分析,但重建覆盖度达 23.3%,远高于实际植被盖度 5%,说明重建结果误差很大。莎草科和白刺属具有很高的  $R^2$ ,是因为这两类孢粉在大多数样方中均不存在,样点向一轴的零值聚集,导致其拟合曲线类似于两点线性回归。因此,本研究中高的  $R^2$  并不能体现较好的重建结果。藜科的回归系数接近 1 且  $R^2$  达 0.87,说明该孢粉类型的重建结果较好。其他 5 种孢粉类型具有低(或负)回归系数( $<0.8$ )和  $R^2$ ,说明重建结果与实际情况有较大偏差。发生偏差的原因有两方面:一是孢粉类型的错误筛选,二是孢粉代表性  $R$  值校正后的百分比差异。

## 4 讨论

### 4.1 湖泊大小对立地尺度植被重建的影响

在 MARCO POLO 模型中,参照区域孢粉的作用在于筛选出表土样品中存在于立地尺度中的孢粉类型并

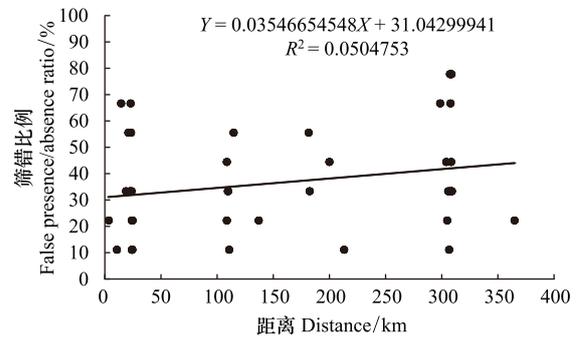


图 2 湖泊—表土样点距离与筛选错误比例关系

Fig.2 Relationship of false presence/absence ratio to distance between lakes and surface soil samples

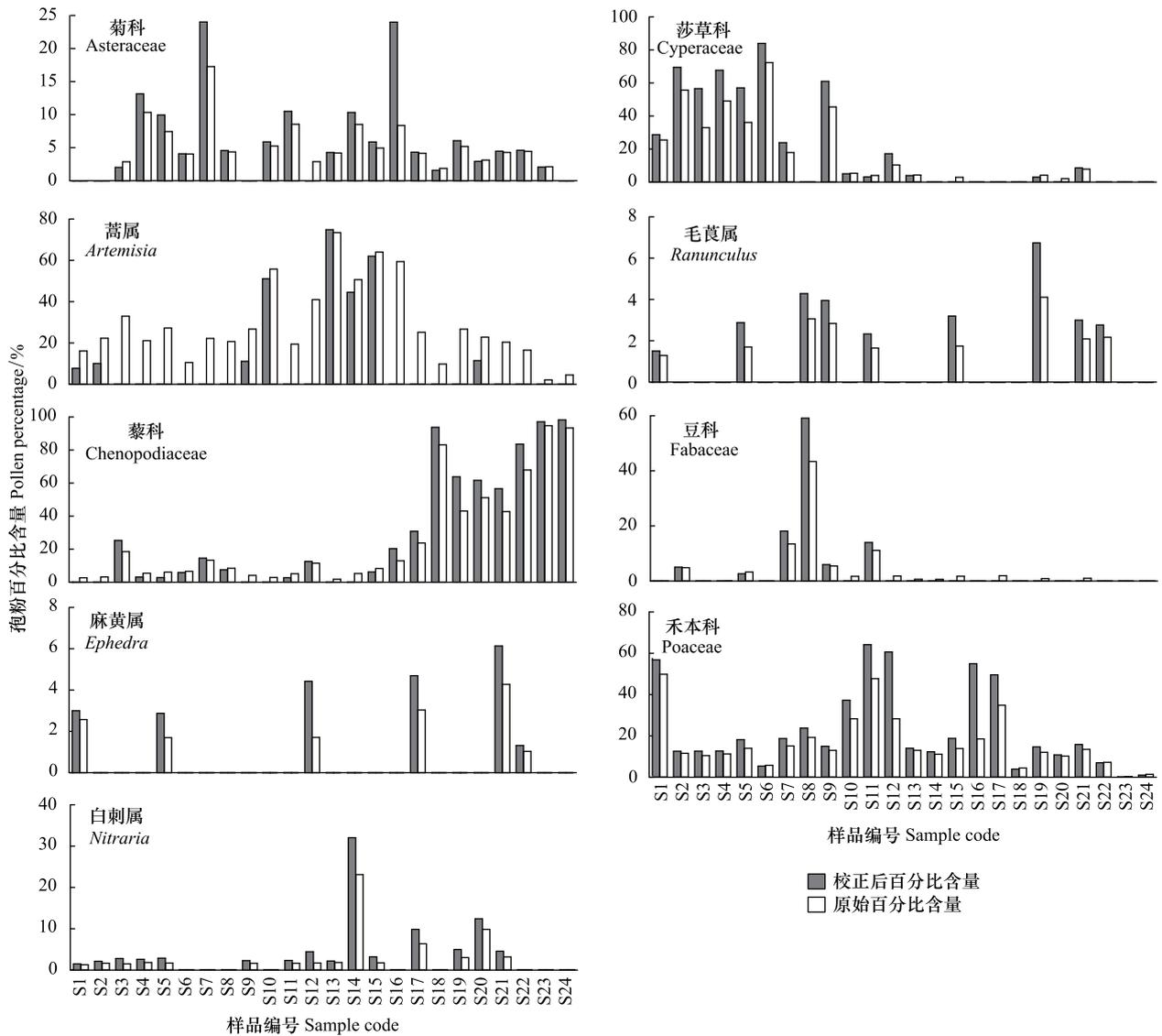


图 4 (A) 组原始孢粉百分比与校正后百分比对比结果

Fig.4 Comparison between original and corrected pollen percentages of Group (A)

表 2 重建的不同植被盖度与实测盖度线性回归拟合结果

Table 2 The results of linear regression analysis between reconstructed and real vegetation coverage of different taxa

孢粉类群 Pollen taxa	组数 n	回归系数 regression coefficient	可决系数 $R^2$
菊科 Asteraceae	7	0.0774	0.0203
莎草科 Cyperaceae	9	0.7406	0.9741
毛茛属 <i>Ranunculus</i>	7	-0.2810	0.6111
豆科 Fabaceae	11	0.3555	0.2032
禾本科 Poaceae	14	0.5099	0.4233
蒿属 <i>Artemisia</i>	15	0.0203	0.0008
藜科 Chenopodiaceae	10	0.8966	0.8676
麻黄属 <i>Ephedra</i>	1	-	-
白刺属 <i>Nitraria</i>	7	0.5702	0.9847

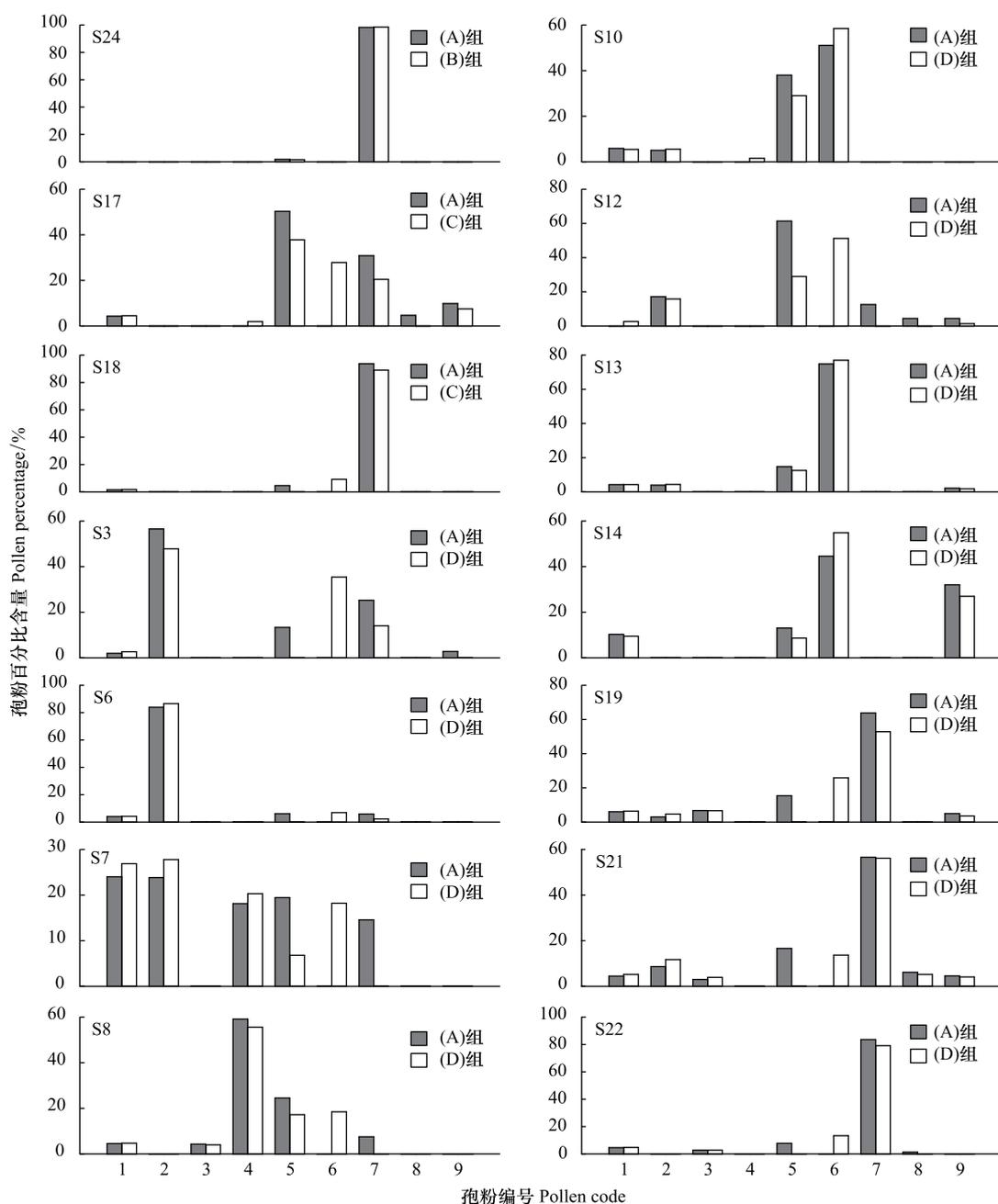


图5 (A)组与(B)一(D)组区域孢粉校正后百分比对比结果

Fig.5 Comparing corrected pollen percentages between Group (A) and Group (B)一(D)

(1. Asteraceae 2. Cyperaceae 3. *Ranunculus* 4. Fabaceae 5. Poaceae 6. *Artemisia* 7. Chenopodiaceae 8. *Ephedra* 9. *Nitraria*)

扣除区域其他孢粉来源所占的比例。通常认为大的湖泊或其他水体沉积物孢粉能够反映区域范围的植被类型组合<sup>[22]</sup>。青海湖水面面积高达 4330 km<sup>2</sup>,集水面积 29661 km<sup>2</sup><sup>[23]</sup>,作为区域孢粉参照的筛选错误率却很高。已有研究显示,蒿属在青海湖表层沉积物中的百分含量显著高于流域其他湖泊或表土孢粉中的百分含量<sup>[19,24-25]</sup>,这一现象与蒿属花粉的产量、开花季节、传播能力以及植被带到湖岸的距离等密切相关。蒿属植物生长活力旺盛,广布于青海湖周围温性草原和高山草原中,其花粉产量极大,花粉颗粒小,易于风力搬运,其授粉期通常在多风的夏秋季节,授粉时间长达 3—4 个月<sup>[24]</sup>,因此造成蒿属植物花粉大量沉积于青海湖中,成为该湖泊沉积花粉组合中的优势成分。由于青海湖表层沉积物具有很高的蒿属花粉含量,大多数表土蒿属花粉含量在计算过程中均显示低于区域参照值,则模型认为这些表土样品中的蒿属花粉均来自区域的花粉传播扩

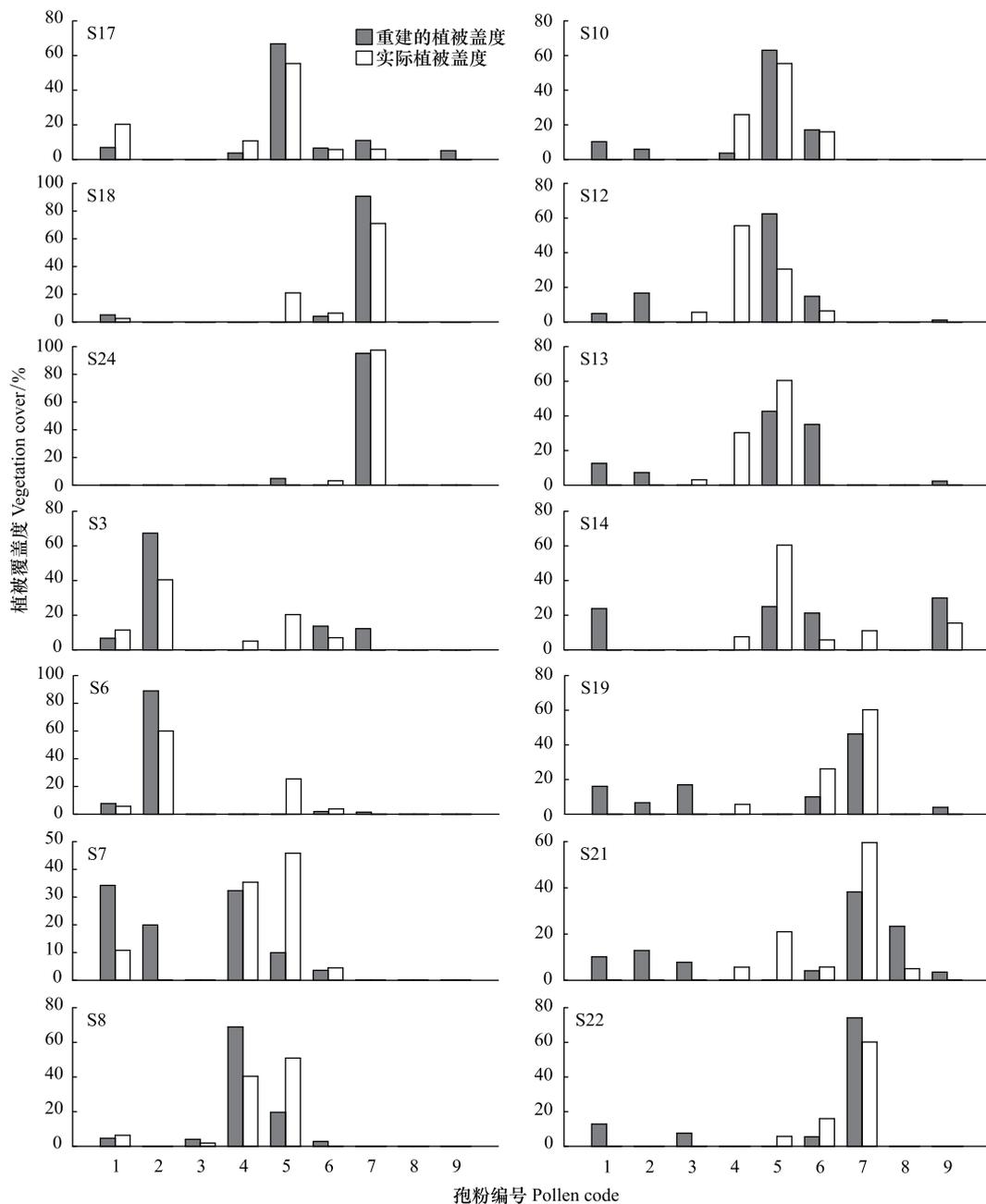


图 6 (B)–(D) 组立地尺度植被盖度重建结果与实际植被盖度对比

Fig. 6 Comparing stand-scale vegetation coverage reconstruction with real vegetation coverage of Groups (B)–(D)

(1. Asteraceae 2. Cyperaceae 3. *Ranunculus* 4. Fabaceae 5. Poaceae 6. *Artemisia* 7. Chenopodiaceae 8. *Ephedra* 9. *Nitraria*)

散而将其筛除掉。由于 MARCO POLO 模型以孢粉百分比含量进行计算,蒿属百分含量的增加必定造成其他孢粉(如藜科、菊科、莎草科、白刺属)百分含量减少,导致这些孢粉区域信号减弱从而出现第二类筛选错误。由此可以看出,干旱区大型湖泊往往对某些超代表性花粉具有明显的富集作用,会放大这些花粉的区域参照值而减弱其他孢粉类型的区域参照值,导致表土孢粉类型筛选错误率增高,最终必然造成重建结果出现较大误差。

#### 4.2 湖泊—表土点间距离对立地尺度植被重建的影响

(A) 组与 (B)–(D) 组的模拟结果表明,选择距离近的湖泊或其他水体的表层沉积孢粉作为区域参照能够提高孢粉类型筛选的正确率。表土样点 S1—S24 所处地理位置的植被类型包括高原草甸、温带草原、荒漠

草原和荒漠<sup>[19]</sup>。不同植被类型具有特有的区域植被和表土孢粉组合,青海湖流域包含了以上所有植被类型,花粉来源复杂,加上区域大风天气使大范围内的孢粉进行了混合,因此很难体现某一植被类型的区域孢粉特征。对于(B)—(D)组的模拟,湖泊距离表土样点较近并且面积较青海湖小得多,能够更好地反映邻近植被类型的区域孢粉特征。并且由于距离较近,减小了因为不同孢粉类型传播能力差异导致的沉积物孢粉组合变化,因此能够更准确地进行孢粉类型的筛选。虽然孢粉类型筛选平均错误率仍高达 32.5%,但出现错误较多的孢粉类型(如菊科、莎草科、毛茛属)在实际表土孢粉和样方植被中的比例比较低,因此对植被盖度重建效果的影响稍小。

#### 4.3 孢粉代表性 $R$ 值对立地尺度植被重建的影响

MARCO POLO 模型的最后一步是通过孢粉代表性  $R$  值,将孢粉百分比转化为植被盖度百分比。孢粉代表性  $R$  值是 Davis 在 20 世纪 60 年代提出的。一般来说,如果  $R$  值越接近 1,表示花粉的百分含量与其母体植物的植被丰度越接近,花粉百分比越具代表性,可直接用于恢复植被丰度;如果  $R > 1$ ,表明花粉百分含量大于母体植物的植被丰度,该花粉类型具有超代表性, $R$  值越大,越具超代表性;当  $R < 1$  时,表明花粉百分含量小于母体植物植被丰度,该类花粉具有低代表性, $R$  值越小,越具低代表性<sup>[26]</sup>。

孢粉代表性  $R$  值受其本身生产、传播、保存以及外部环境等多方面因素的影响,在不同地区或样方中差异可能很大<sup>[27]</sup>。例如,在柴达木东部落叶阔叶林植被中,蒿属不论盖度高或低,蒿属花粉百分比多低于 35%<sup>[28]</sup>。在川北若尔盖高原、宁夏大罗山和甘肃石羊河流域山上植被中,蒿属表现为等代表性<sup>[27, 29-30]</sup>。在干旱-半干旱草原、荒漠草原、荒漠和沙漠,蒿属表现为超代表性<sup>[13-14, 27, 31-32]</sup>。研究表明,藜科在若尔盖高原植被中呈等代表性<sup>[29]</sup>,在天山南坡和宁夏大罗山植被中呈超代表性<sup>[13, 30]</sup>。在石羊河流域山上植被中,藜科基本呈等代表性,在该流域中的草原和荒漠草原带呈现超代表性,到了荒漠地带则呈现低代表性<sup>[27]</sup>。在中国北部和西北地区,莎草科普遍呈现低代表性<sup>[13, 27, 29]</sup>。在石羊河流域的研究发现,禾本科在山上的植被带和荒漠、沙漠地带中均呈现超代表性,在草原带和荒漠草原植被带中则呈现低代表性<sup>[27]</sup>。在北川若尔盖高原、天山南坡、内蒙古中部及西藏扎布耶盐湖地区,禾本科总体呈现低代表性<sup>[29-30, 33-34]</sup>。

Zhao 等<sup>[19]</sup>对青海湖西部 365 km 以内区域的 24 个样方进行植被调查和表土孢粉鉴定,计算了 10 种主要孢粉类型(菊科、莎草科、毛茛属、豆科、禾本科、蒿属、藜科、麻黄属、白刺属)的  $R$  值和相对  $R$  值范围、平均相对  $R$  值和相对  $R$  值的中值。Li 等<sup>[17]</sup>在青海湖流域东北部-祁连山南坡进行了 18 个样方植被调查和表土孢粉鉴定,计算了 14 种孢粉类型的平均  $R$  值。通过对比发现,虽然同在青海湖流域,但由于调查样方和表土样点地理位置和所处植被带不同,同一孢粉类型的  $R$  值差异很大。例如,蒿属、莎草科和毛茛属在青海湖西部样方中的平均  $R$  值分别为 7.45、2.04 和 1.13,而在东北部样方中却分别为 16、1.2 和 0.2<sup>[17, 19]</sup>。即便是青海湖西部的 24 个样方之间也存在很大差异,除了麻黄属外,其余 9 种孢粉类型的  $R$  值范围均很大,最小值均小于 1,最大值可达 10 以上<sup>[19]</sup>。在进行 MARCO POLO 模拟时,每种孢粉类型只能采用一个  $R$  值进行校正,这就要求同时进行重建的每个样方中同类孢粉具有相同或相近的  $R$  值,才能保证重建结果的可靠性。由于难以获取各样方中主要孢粉类型的  $R$  值,本研究仅以各主要类型孢粉平均相对  $R$  值进行模拟,因此很难获得可信度高的重建结果。

## 5 结论

本研究采用 MARCO POLO 对青海湖流域西部 24 个样方进行立地尺度植被盖度定量化重建。通过 4 组模拟得到以下结论:

(1) 在干旱区以大型湖泊表层沉积孢粉作为区域孢粉参照效果不理想,原因在于一些超代表性花粉很容易富集在这类湖泊中,而使得孢粉筛选结果与实际植被类型存在较大差异;

(2) 湖泊与表土点间距离对模拟结果也有一定影响。距离较近的湖泊能够更好地反映邻近区域的孢粉特征,从而提高孢粉类型筛选的正确率;

(3) 孢粉代表性  $R$  值是将孢粉百分比转化为植被盖度的关键步骤。由于孢粉  $R$  值不仅受到自身特征及传播方式的影响,还受到样方调查个数和植被覆盖度的影响,因此在进行模拟前需要确定每一个样方中各类孢粉的  $R$  值以保证重建的可信度;

(4) 总体而言,该模型在青海流域没有体现出良好的适用性,需要更广泛的调查研究以获得更深入的认识。

#### 参考文献 (References):

- [ 1 ] Huntley B. Studying global change: the contribution of quaternary palynology. *Global and Planetary Change*, 1990, 2(1/2): 53-61.
- [ 2 ] Sugita S. Theory of quantitative reconstruction of vegetation I: pollen from large sites REVEALS regional vegetation composition. *The Holocene*, 2007, 17(2): 229-241.
- [ 3 ] Sugita S. Theory of quantitative reconstruction of vegetation II: all you need is LOVE. *The Holocene*, 2007, 17(2): 243-257.
- [ 4 ] Hellman S, Gaillard M J, Broström A, Sugita S. The REVEALS model, a new tool to estimate past regional plant abundance from pollen data in large lakes: validation in southern Sweden. *Journal of Quaternary Science*, 2008, 23(1): 21-42.
- [ 5 ] Soepboer W, Sugita S, Lotter A F. Regional vegetation-cover changes on the Swiss Plateau during the past two millennia: a pollen-based reconstruction using the REVEALS model. *Quaternary Science Reviews*, 2010, 29(3/4): 472-483.
- [ 6 ] Marquer L, Gaillard M J, Sugita S, Trondman A K, Mazier F, Nielsen A B, Fyfe R M, Odgaard B V, Alenius T, Birks H J B, Bjune A E, Christiansen J, Dodson J, Edwards K J, Giesecke T, Herzschuh U, Kangur M, Lorenz S, Poska A, Schult M, Seppä H. Holocene changes in vegetation composition in northern Europe: why quantitative pollen-based vegetation reconstructions matter. *Quaternary Science Reviews*, 2014, 90: 199-216.
- [ 7 ] Li F R. Pollen productivity estimates and pollen-based reconstructions of Holocene vegetation cover in Northern and temperate China for climate modelling[D]. Växjö: Linnaeus University, 2016.
- [ 8 ] Li F R, Gaillard M J, Sugita S, Mazier F, Xu Q H, Zhou Z Z, Zhang Y Y, Li Y C, Laffly D. Relative pollen productivity estimates for major plant taxa of cultural landscapes in central eastern China. *Vegetation History and Archaeobotany*, 2017, 26(6): 587-605.
- [ 9 ] Mrotzek A, Couwenberg J, Theuerkauf M, Joosten H. MARCO POLO-A new and simple tool for pollen-based stand-scale vegetation reconstruction. *The Holocene*, 2017, 27(3): 321-330.
- [ 10 ] Theuerkauf M, Couwenberg J. The extended downscaling approach: A new R-tool for pollen-based reconstruction of vegetation patterns. *The Holocene*, 2017, 27(8): 1252-1258.
- [ 11 ] 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(1): 69-79.
- [ 12 ] Cour P, Zheng Z, Duzer D, Calleja M, Yao Z. Vegetational and climatic significance of modern pollen rain in northwestern Tibet. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 1999, 104(3/4): 183-204.
- [ 13 ] 许英勤, 阎顺, 贾宝全, 杨云良. 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.
- [ 14 ] Liu H Y, Cui H T, Pott R, Speier M. The surface pollen of the woodland-steppe ecotone in southeastern Inner Mongolia, China. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 1999, 105(3/4): 237-250.
- [ 15 ] Li Y Y, Zhang X S, Zhou G S. Quantitative relationships between vegetation and several pollen taxa in surface soil from North China. *Chinese Science Bulletin*, 2000, 45(16): 1519-1523.
- [ 16 ] Herzschuh U, Kürschner H, Ma Y Z. The surface pollen and relative pollen production of the desert vegetation of the Alashan Plateau, western Inner Mongolia. *Chinese Science Bulletin*, 2003, 48(14): 1488-1493.
- [ 17 ] Li Y C, Xu Q H, Yang X L, Chen H, Lu X M. Pollen - vegetation relationship and pollen preservation on the Northeastern Qinghai - Tibetan Plateau. *Grana*, 2005, 44(3): 160-171.
- [ 18 ] Zhao Y, Yu Z C, Chen F H, Ito E, Zhao C. Holocene vegetation and climate history at Hurlig Lake in the Qaidam Basin, northwest China. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 2007, 145(3/4): 275-288.
- [ 19 ] Zhao Y, Herzschuh U. Modern pollen representation of source vegetation in the Qaidam Basin and surrounding mountains, north-eastern Tibetan Plateau. *Vegetation History and Archaeobotany*, 2009, 18(3): 245-260.
- [ 20 ] 中国科学院中国植被图编辑委员会. 中华人民共和国植被图(1: 1 000 000). 北京: 地质出版社, 2007.
- [ 21 ] Furrer R, Nychka D. Fields: Tools for Spatial Data. version 6.8. [2013]. <http://www.image.ucar.edu/fields/>
- [ 22 ] Jacobson G L, Bradshaw R H W. The selection of sites for paleovegetational studies. *Quaternary Research*, 1981, 16(1): 80-96.
- [ 23 ] 王苏民, 窦鸿身. 中国湖泊志. 北京: 科学出版社, 1998.
- [ 24 ] 尚雪, 李小强, 安芷生, 纪明, 张宏宾. 青海湖流域表土花粉分析. *中国科学 D 辑: 地球科学*, 2009, 39(9): 1288-1296.
- [ 25 ] 刘德梅, 杨倩, 陈志国, 曾方明, 魏海成. 藏嵩草高寒湿地中孢粉记录的古植被与古环境状况. *冰川冻土*, 2016, 38(2): 539-548.
- [ 26 ] Davis M B. On the theory of pollen analysis. *American Journal of Science*, 1963, 261(10): 897-912.
- [ 27 ] 程波, 朱艳, 陈发虎, 张家武, 黄小忠, 杨美临. 石羊河流域表土孢粉与植被的关系. *冰川冻土*, 2004, 26(1): 81-88.
- [ 28 ] 陈辉, 吕新苗, 李双成. 柴达木盆地东部表土花粉分析. *地理研究*, 2004, 23(2): 201-210.
- [ 29 ] 蔡遥, 王燕, 蒋复初, 李朝柱. 川北若尔盖高原表土孢粉的特征及其与现代植被的关系. *地质通报*, 2010, 29(5): 707-712.
- [ 30 ] 伍婧, 马玉贞, 桑艳礼, 蒙红卫, 胡彩莉. 宁夏大罗山表土样品中主要花粉类型的代表性. *古生物学报*, 2013, 52(1): 57-67.
- [ 31 ] 李月丛, 许清海, 阳小兰, 郑振华. 中国草原区主要群落类型花粉组合特征. *生态学报*, 2005, 25(3): 555-564.
- [ 32 ] 许清海, 李月丛, 阳小兰, 郑振华. 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(2): 192-205.
- [ 33 ] 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(11): 902-909.
- [ 34 ] 吴玉书, 肖家仪. 西藏扎布耶盐湖地区现代花粉雨的初步研究. *植物分类与资源学报*, 1995, 17(1): 72-78.