

内蒙古森林草原-典型草原-荒漠草原的 相对花粉产量对比

何飞, 李宜垠*, 伍婧, 许耀中

北京大学城市与环境学院, 地表过程分析与模拟教育部重点实验室, 北京 100871

* 联系人, E-mail: lyy@urban.pku.edu.cn

2016-05-03 收稿, 2016-06-27 修回, 2016-06-30 接受, 2016-10-14 网络版发表

国家自然科学基金(41571183, 41072121)资助

摘要 相对花粉产量(relative pollen productivity, RPP)是指某一种花粉类型的绝对花粉产量与特定参照花粉类型绝对花粉产量的比值, 是进行景观尺度古植被定量重建的重要输入参数. 为了解蒿属(*Artemisia*)、菊科(Compositae)、禾本科(Gramineae)、藜科(Chenopodiaceae)和莎草科(Cyperaceae)这5种草原植被中常见花粉类型的RPP, 在内蒙古呼伦贝尔、锡林浩特和苏尼特左旗3个地区开展了RPP对比研究的工作. 三个地区均采用了分圈层植被盖度调查方法进行植被调查, 并利用Tauber型花粉采集器采集花粉. 结果发现: 5种花粉类型的沉降速率依次为禾本科(0.032 m/s)、莎草科(0.027 m/s)、藜科(0.027 m/s)、蒿属(0.021 m/s)、菊科(0.019 m/s). 藜科的RPP均比较大, 而禾本科的RPP比较小. 当选择蒿属作为参照花粉类型时(RPP为1.00), 同一种花粉类型RPP的数值在不同草原地区有所不同: 在呼伦贝尔森林草原, 菊科为0.33, 禾本科为0.44, 藜科为4.78, 莎草科为1.21; 在锡林浩特典型草原, 菊科为4.72, 禾本科为0.01, 藜科为2.05, 莎草科为 1.31×10^{-3} ; 在苏尼特左旗荒漠草原, 菊科为6.72, 禾本科为2.15, 藜科为36.25, 莎草科为0.41. 不同地区的RPP产生差异的主要原因可能是各个地区不同的植被类型下所生长的植物种不同及模型计算所用样点的多少所致. 三个地区的花粉相关源区(relevant source areas of pollen, RSAP)均很小, 在20 m以内. 研究表明, 由于蒿属孢粉背景值过大, 导致REVEALS (regional estimates of vegetation abundance from large sites)结果中, 蒿属植物被明显高估.

关键词 相对花粉产量, 花粉沉降速率, 花粉相关源区, 植被调查, 内蒙古草原

相对花粉产量(relative pollen productivity, RPP)指某一种花粉类型的绝对花粉产量与特定参照花粉类型绝对花粉产量的比值^[1]. Parsons和Prentice^[2,3]根据花粉与植被的定量关系, 建立了ERV(extended R-value)模型来计算RPP. Sugita^[4,5]将其进一步完善, 并提出了花粉相关源区(relevant source areas of pollen, RSAP)的概念, 即花粉沉降地点的花粉含量受周围植被盖度明显影响的最小区域, 常用半径来表示. 由于孢粉百分含量会随着距离的变化而变化, 但是

到达RSAP后, 孢粉百分含量不再发生变化或变化很小, 而此处的孢粉百分含量称作该孢粉的背景值(background). 在此基础上, Sugita等人^[6]建立了利用花粉数据估算植被盖度的景观重建算法(landscape reconstruction algorithm, LRA). 由此可见, RPP是进行景观尺度古植被定量重建的重要输入参数. REVEALS (regional estimates of vegetation abundance from large sites)是Sugita在2007年提出^[7], 利用相对花粉产量定量重建古植被的方法.

引用格式: 何飞, 李宜垠, 伍婧, 等. 内蒙古森林草原-典型草原-荒漠草原的相对花粉产量对比. 科学通报, 2016, 61: 3388–3400

He F, Li Y Y, Wu J, et al. A comparison of relative pollen productivity from forest steppe, typical steppe and desert steppe in Inner Mongolia (in Chinese). Chin Sci Bull, 2016, 61: 3388–3400, doi: 10.1360/N972016-00482

欧洲大部分地区主要花粉类型的RPP已得到成功估算。如在英格兰地区^[8,9], 桤木属(*Alnus*)、桦木属(*Betula*)、栎属(*Quercus*)等主要木本植物的RPP已得到估算; 在瑞典地区^[10], 禾本科(*Gramineae*)、帚石楠属(*Calluna*)、菊科(*Compositae*)、莎草科(*Cyperaceae*)等植物的RPP已得到估算; 在瑞士高原^[11], 云杉属(*Picea*)、松属(*Pinus*)、桦木属的RPP已被估算。但是, 不同地区的同一花粉类型的RPP存在显著差异, 并且在相近的地区, 这种差异也仍然存在。例如, 在估算挪威莎草科RPP的相关研究中, Hjelle^[12]以禾本科为参照植物, 估算草原地区莎草科的RPP为0.29, 在林区则变成了1.37^[13]。

近几年来, 我国不同地区陆续开展了RPP和RSAP的研究工作。在长白山, Li等人^[14]估算了北方常见树种桦木属、松属、栎属、白蜡树属(*Fraxinus*)、椴属(*Tilia*)、落叶松属(*Larix*)、榆属(*Ulmus*)的RPP; 而对于草本植物RPP的研究, 则主要集中在内蒙古坝上典型草原^[15]、鄂尔多斯高原和阿拉善高原^[16]、锡林格勒温带草原^[17]以及青藏高原的高寒草原^[18], 研究的草本植物的主要类型有菊科、蒿属(*Artemisia*)、莎草科和禾本科。这些研究结果为我们在中国进一步开展RPP及RSAP研究奠定了良好的基础。但由于植被调查方法的不同(如内蒙古坝上典型草原研究^[15]中采用“Crackles Bequest Project”的调查方法, 即10 m内采用1 m × 1 m样方详细调查4个方向的植被数据, 而10~100 m则绘制植被调查图; 鄂尔多斯高原和阿拉善高原^[16]以及锡林格勒温带草原的研究^[17]中均是5 m内详尽调查, 而5 m外采用植被图数据; 青藏高原的高寒草原研究^[18]中采用1:1000000植被图以及野外调查), 这些结果对比起来有一定的困难。为了更加清楚地了解森林草原-典型草原-荒漠草原不同花粉类型RPP的变化规律, 准确重建不同景观的植被盖度, 本文选择了呼伦贝尔森林草原、锡林浩特典型草原和苏尼特左旗荒漠草原进行了植被调查及花粉收集, 估算了蒿属、藜科、菊科、禾本科和莎草科5种草原地区最为常见花粉类型的RPP, 并且讨论了不同地区RPP差异的影响因素。

1 研究区域

研究区域位于我国最大的草原牧区内蒙古的呼伦贝尔、锡林浩特和苏尼特左旗地区(图1)。

呼伦贝尔(HLBE)位于内蒙古东部(115°31′~

126°04′E, 47°05′~53°20′N), 属于温带大陆性气候。年平均气温在0℃左右; 1月最冷, 温度在-30~-18℃之间; 最热月为7月, 温度在16~21℃之间; 年降水量250~350 mm, 降水集中在7~9月。植被以森林草原为主, 优势植物有羊草(*Leymus chinensis*)、大针茅(*Stipa grandis*)、克列门茨针茅(*Stipa krylovii*)、芦苇(*Phragmites australis*)、冷蒿(*Artemisia frigida*)、樟子松(*Pinus sylvestris*)、白桦(*Betula platyphylla*)等。

锡林浩特(XLHT)位于内蒙古中部(115°13′~117°06′E, 43°02′~44°52′N)。年平均气温为0~3℃; 1月气温最低, 平均温度为-19℃; 7月气温最高, 平均温度21℃; 极端最高气温可达39℃; 年平均降水量不足300 mm, 降水集中在7~9月。锡林浩特处于典型草原带, 优势植物有羊草、大针茅、冰草(*Agropyron cristatum*)、糙隐子草(*Cleistogenes squarrosa*)、冷蒿(*Artemisia frigida*)、百里香(*Thymus vulgaris*)等。

苏尼特左旗(SNTZ)位于锡林郭勒西北(111°24′~115°12′E, 42°45′~45°15′N)。年平均气温3.1℃; 1月气温最低, 平均温度为-18.7℃; 7月最高温度为22.0℃; 全年降水量在150~200 mm之间, 降水大多在7, 8月。植被类型以荒漠草原为主, 优势植物有大针茅、克列门茨针茅、狭叶锦鸡儿(*Caragana stenophylla*)、小叶锦鸡儿(*Caragana microphylla*)等。

2 材料与方法

2.1 野外花粉收集和植被调查

花粉收集采用改进后的Tauber型花粉采集器。花粉采集器为圆柱形瓶, 高17 cm, 外径8 cm, 瓶口直径5 cm。收集花粉时, 瓶内放甘油50 mL, 麝香草酚2 g, 然后垂直埋入土中, 瓶口露出地表5 cm^[20,21]。花粉收集器于当年5月放置, 次年5月回收。呼伦贝尔地区放置6年(2008~2013年), 23个放置点, 共计138个样品; 锡林浩特地区放置6年(2007~2012年), 12个放置点, 共计72个样品; 苏尼特左旗放置3年(2010~2012年), 22个放置点, 共计66个样品。

在花粉采集器的周围进行分圈层植被盖度调查^[22]。在0~20 m的范围内进行详细植被调查: 以花粉捕捉器为中心点, 0, 0.5, 1.5, 2.5, 4, 6, 8, 10, 15和20 m为外径, 向2个方向做1 m×1 m的植被样方调查, 记录取样点周围植物群落的植物种类、总投影盖度和不同物种的分盖度; 半径20~100 m的范围以10 m为间

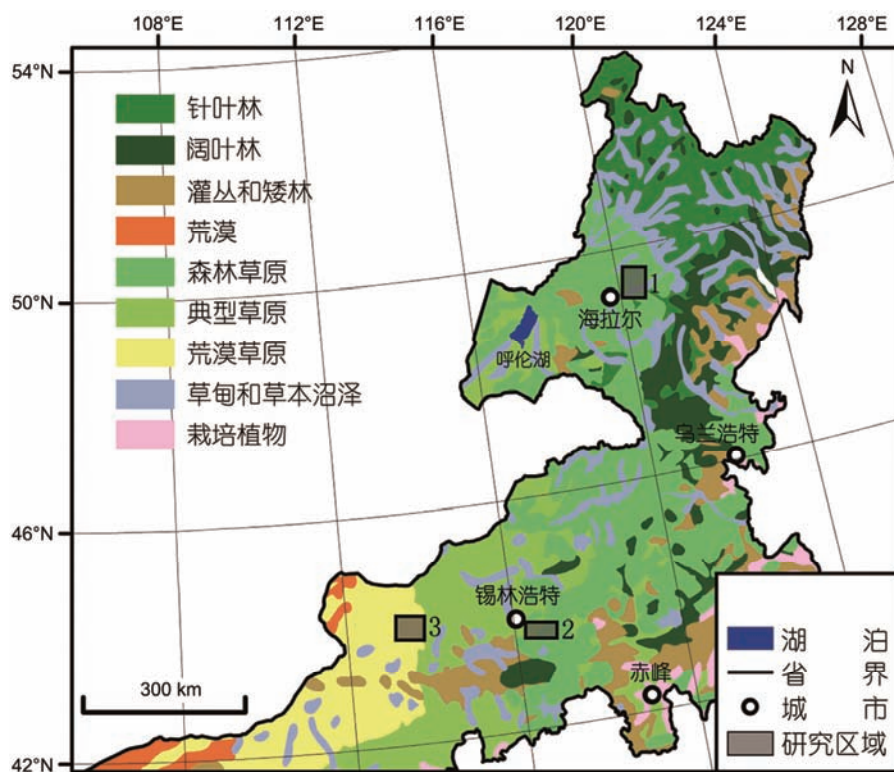


图1 研究区域示意图。1 为呼伦贝尔森林草原研究区；2 为锡林浩特典型草原研究区；3 为苏尼特左旗荒漠草原研究区(据张新时^[19]修改)

Figure 1 Location of sampling area in Inner Mongolia. 1, Study area of Hulunbuir forest steppe; 2, study area of Xilinhot typical steppe; 3, study area of Sonid Left Banner desert steppe (revised from Zhang^[19])

隔沿着20 m内样方调查方向进行1 m × 1 m样方调查；100~1000 m以100 m为间距沿着20 m内样方调查方向进行1 m × 1 m样方调查；1000 m采用数值化植被图(1:1000000)数据^[19]。

2.2 花粉分析

花粉提取工作在北京大学城市与环境学院第四纪生物遗存实验室内进行。把花粉收集器中的花粉用水冲洗到烧杯中，加入石松孢子2片(27637粒/片)，再经过10% HCl处理、10% NaOH处理、过粗筛(125 μm)、过细筛(7 μm)、重液(比重为2.0)浮选、冰醋酸处理、硫酸-醋酸酐混合液(浓硫酸:醋酸酐=1:9)处理等过程，以除去液体中的杂质，获得纯净花粉^[23]。最后完成制片，并在400倍的光学显微镜下鉴定并统计不同类型的花粉。每个样品的花粉统计总数均在500粒以上。

为了计算蒿属、藜科、菊科、禾本科和莎草科花粉的沉降速率(fall speed)，本文选择了相应的现代花粉片，在400倍光学显微镜下，随机选取20粒花粉，

测量其长轴、短轴。

2.3 数据处理与分析

(i) 孢粉百分含量计算。呼伦贝尔森林草原选取的是2008~2013年的孢粉平均值，锡林浩特典型草原是2007~2012年的孢粉平均值，苏尼特左旗荒漠草原是2010~2012年的孢粉平均值。呼伦贝尔森林草原和锡林浩特典型草原均选择了6年孢粉数据的平均值能有效避免孢粉的年际波动；苏尼特左旗荒漠草原只选取了3年的孢粉数据进行平均，孢粉数据可能存在较大年际波动。

(ii) 花粉沉降速率的计算。采用Stokes Law^[24]计算本研究所需的花粉的沉降速率：

$$R = \sqrt[3]{a \times b^2}, \quad (1)$$

$$\alpha = a/b, \quad (2)$$

$$v_g = \frac{2 \times 981 \times R^2 \times \sqrt[3]{\alpha}}{9 \times (\rho - 0.00127) \times 0.00018 \times 100}, \quad (3)$$

式中， a 为花粉长轴(cm)， b 为花粉短轴(cm)， ρ 为花粉

密度(蒿属为 1.02 g/cm^3 , 其他为 0.83 g/cm^3 ^[25]), v_g 为花粉的沉降速率. 利用Stokes Law估算了蒿属(冷蒿)、藜科(猪毛菜)、禾本科(羊草)、菊科(麻花头)和莎草科(苔草)5种花粉的沉降速率, 其中由于驼绒藜花粉和猪毛菜花粉的长短轴长度相近, 因此选择了猪毛菜花粉来代表藜科花粉.

(iii) 相对花粉产量(RPP)的估算. 在本次研究中, 我们应用ERV.Analysis.v1.3.1.win64(Sugita未发表)估算蒿属、菊科、禾本科、藜科以及莎草科这5种花粉类型的RPP. ERV由3个子模型组成, 这3个子模型需要输入的数据有花粉百分含量和植被盖度: 子模型1和子模型2需要输入植被的相对盖度, 子模型3需要输入绝对植被盖度数据^[26]. 本文选择蒿属为参照植物. 这是因为蒿属在每个trap样品中的花粉百分含量均较高, 且在绝大多数样地中均有蒿类植物生长, 而禾本科的花粉百分含量在苏尼特左旗荒漠草原仅占不到5%. 风速统一设为 3 m/s , 沉积盆地半径为 0.025 m , 花粉传播模型选取了Prentice's model^[27]. ERV模型所计算的似然函数得分(likelihood function score)以及相应RPP的标准差(S.E.)作为筛选3个子模型的主要依据, 似然函数得分曲线趋势越好, 以及似然函数得分越低且标准差越小, 估算结果越可靠. 其中, 似然函数得分最低且开始趋于稳定的距离为RSAP, 该距离对应的RPP和背景值为最终的结果^[5].

ERV.Analysis.v1.3.1.win64 是 Sugita 对 ERV.Analysis.v1.2.3改进及适用于Windows64位系统的估算RPP的软件由于在中国北方草原已经有较多的研究使用ERV.Analysis.v1.2.3, 作为改进版ERV. Analysis.v1.3.1.win64也应适用于我国北方草原区.

(iv) REVEALS 检验 RPP 估算结果. 应用

REVEALS.V.3.9(Sugita未发表)对trap周围采集的表土样品进行植被重建, 并将重建结果与实际植被调查进行比较. 其中, REVEALS模型输入的沉降速率、RPP以及5种花粉类型的方差矩阵均由本研究得出, 孢粉数据来自于2009年在呼伦贝尔森林草原、锡林浩特典型草原和苏尼特左旗荒漠草原采集的表土样品, 植被重建半径为 50 km .

(v) DCA与PCA排序. 为了比较3个研究区的主要孢粉类型和植物种类的异同, 解释5种花粉类型RPP估算结果在呼伦贝尔森林草原、锡林浩特典型草原和苏尼特左旗荒漠草原不同的原因, 本文利用Canoco 4.5^[28]对5种花粉类型的花粉百分含量和植被相对盖度进行DCA与PCA分析. 去趋势对应分析(detrended correspondence analysis, DCA)^[29,30]是对物种和样方数据进行排序的方法, 其分析结果中的梯度长度(lengths of gradient)是决定数据进行线性模型还是单峰模型的重要判断依据. 若梯度长度的最大值不超过1.5, 可选择线性模型如主成分分析等; 若大于3, 则选择单峰模型, 如典型对应分析等^[31]. 主成分分析(principal component analysis, PCA)^[29,32]是将多个变量通过线性变换以选出较少个数重要变量的一种多元统计分析方法. 它可以方便地找出影响事物变化的最主要的因素.

3 结果

3.1 花粉的沉降速率

根据Stokes Law计算得到的5种花粉类型的沉降速率(表1), 禾本科的沉降速率最大(0.032 m/s), 其余依次是莎草科(0.027 m/s), 藜科(0.027 m/s), 蒿属

表1 五种花粉类型沉降速率(m/s)

Table 1 Fall speed for the five pollen types used in the analysis (m/s)

蒿属	菊科	禾本科	藜科	莎草科	文献来源
0.021	0.019	0.032	0.027	0.028	本次研究
0.009	0.019	0.016	0.010	0.024	葛亚汶等人 ^[15]
0.009	0.012	0.016	0.011	0.015	Xu等人 ^[17]
0.010		0.023	0.009		Li等人 ^[16]
0.010		0.019	0.012	0.029	Wang和Herzschuh ^[18]
0.021					Poska等人 ^[33]
		0.035		0.035	Sugita等人 ^[6]
	0.051				Broström等人 ^[10]

(0.021 m/s), 菊科(0.019 m/s).

3.2 花粉的百分含量

呼伦贝尔森林草原5种花粉类型共占72.08%±10.97%. 其中, 蒿属(19.53%~48.23%)百分含量最高, 其次为藜科(2.12%~30.20%), 禾本科(2.82%~21.31%)和莎草科(0.89%~21.25%)相似, 菊科(1.78%~14.83%)最低. 锡林浩特典型草原5种花粉类型共占96.45%±1.28%. 其中, 藜科(40.34%~67.31%)百分含量最高, 其次为蒿属(25.00%~47.43%), 菊科(1.20%~17.18%)次之, 禾本科(1.07%~5.13%)较低, 莎草科(0.26%~1.07%)最低. 苏尼特左旗荒漠草原5种花粉类型共占91.93%±5.84%. 其中, 藜科(33.52%~65.51%)和蒿属(29.31%~56.28%)百分含量最高, 其次菊科(0.18%~4.78%)和禾本科(0.19%~3.23%), 莎草科(0~0.69%)最低. 从呼伦贝尔森林草原到锡林浩特典型草原再到苏尼特左旗荒漠草原, 菊科和蒿属花粉的百分含量基本不变, 禾本科和莎草科百分含量逐渐减少, 而藜科花粉百分含量逐渐增加.

本文发现, 在3个研究区中, 蒿属花粉的百分含量均较高且较为稳定, 因此被选为参照植物.

3.3 相对花粉产量(RPP)

图2(a1)和(a2)是呼伦贝尔森林草原5种花粉类型的RPP和背景值. 其中, 子模型1估算的5种花粉类型的RPP不同于子模型2和子模型3. 子模型1的结果中, 莎草科的RPP最大, 禾本科最小, 蒿属、菊科和藜科相近; 而子模型2和子模型3均是藜科的RPP最大, 其次是蒿属和莎草科, 菊科和禾本科最小. 背景值的结果也呈现出子模型1的估算结果不同于子模型2和子模型3. 子模型1的蒿属最大, 其次是藜科, 再次是禾本科, 然后是菊科, 莎草科最小; 而子模型2和子模型3均是蒿属最大, 其次是菊科和藜科, 禾本科和莎草科最小.

图2(b1)和(b2)是锡林浩特典型草原5种花粉类型的RPP和背景值. 其中, 子模型1、子模型2和子模型3的估算结果极其相似, 均是菊科最大, 藜科次之, 再次是蒿属, 而禾本科和莎草科均极小. 三个子模型得到的背景值结果也很相似, 蒿属和藜科最大, 菊科次之, 然后是禾本科, 莎草科最小.

图2(c1)和(c2)是苏尼特左旗荒漠草原5种花粉类型的RPP和背景值. 其中, 三个子模型所估算的苏尼

特左旗地区植物的RPP结果趋势很相似. 藜科最大, 菊科第二, 禾本科第三, 蒿属和莎草科最小. 三个子模型的背景值结果也很接近. 蒿属和藜科很大, 其余极小.

3.4 花粉相关源区(RSAP)

图3(a)是呼伦贝尔森林草原的似然函数得分随距离变化曲线. 子模型2和子模型3的曲线均是先下降, 后在20 m左右处趋于水平; 子模型1则不同, 曲线趋势先下降后升高, 逐渐趋于水平. 因此, 认为呼伦贝尔地区的RSAP在20 m左右.

图3(b)是锡林浩特典型草原的似然函数得分随距离变化曲线. 子模型1和子模型3的曲线均表现为先急速下降, 后在9 m左右趋于水平; 子模型2则不同, 其得分曲线在一段平稳后出现波动, 且得分较高. 因此, 认为锡林浩特地区的RSAP在9 m左右.

图3(c)是苏尼特左旗荒漠草原的似然函数得分随距离变化曲线. 三个子模型的得分曲线均为先急速下降, 然后在8 m左右处开始变得平缓并趋于水平, 其中子模型2最高, 其次为子模型1, 子模型3最低. 因此, 认为苏尼特左旗地区的RSAP在8 m左右.

3.5 REVEALS检验结果

图4(a)是呼伦贝尔森林草原REVEALS重建结果与实际植被调查盖度的对比. 两者均表现出禾本科最高, 其次是蒿属, 最低的是藜科. 但是实际植被调查盖度莎草科的百分含量高于菊科, 而REVEALS重建结果则相反. 尽管REVEALS重建结果显示, 蒿属、菊科和藜科被高估, 禾本科和莎草科低估. 但是REVEALS重建结果与实际植被调查盖度的相差在10%的范围内.

图4(b)是锡林浩特典型草原REVEALS重建结果与实际植被调查盖度的对比. 两者均表现出禾本科最高, 其次是藜科, 最低的是菊科. 但是实际植被调查盖度莎草科百分含量高于蒿属, 而REVEALS重建结果则相反. 在REVEALS重建结果中, 被高估的有蒿属、藜科和莎草科, 被低估的是菊科和禾本科. 其中禾本科被低估27%以上, 其余种类的重建结果与实际植被调查盖度相差在15%范围内.

图4(c)是苏尼特左旗荒漠草原REVEALS重建结果与实际植被调查盖度的对比. 本文发现, REVEALS重建结果与实际植被调查盖度存在明显差异,

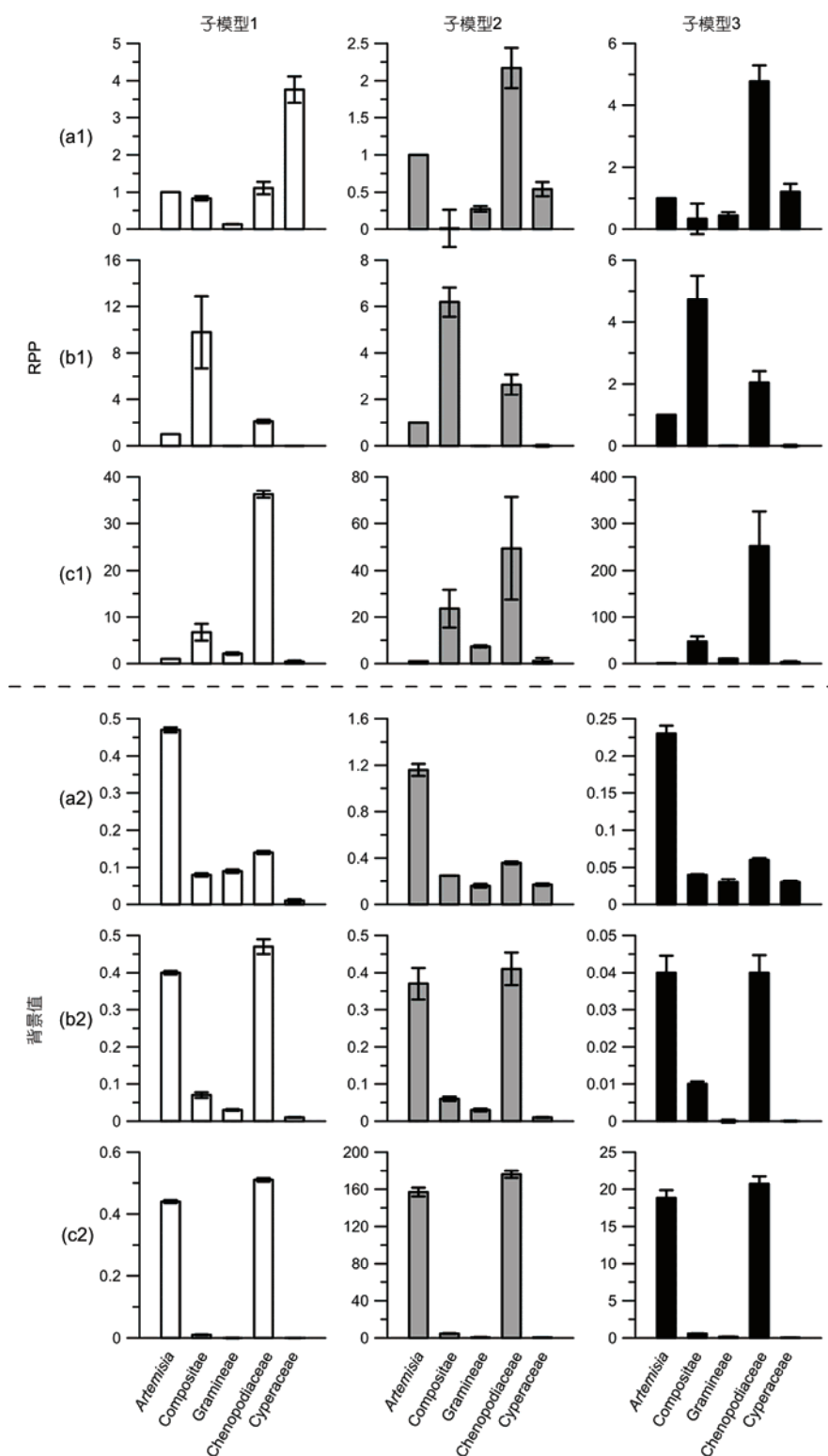


图2 五种花粉类型(蒿属、菊科、禾本科、藜科和莎草科)估算的RPP和背景值。(a1) 呼伦贝尔森林草原RPP; (b1) 锡林浩特典型草原RPP; (c1) 苏尼特左旗荒漠草原RPP; (a2) 呼伦贝尔森林草原背景值; (b2) 锡林浩特典型草原背景值; (c2) 苏尼特左旗荒漠草原背景值

Figure 2 RPPs and backgrounds of *Artemisia*, *Compositae*, *Gramineae*, *Cyperaceae* and *Chenopodiaceae*. (a1) RPPs of Hulunbuir forest steppe; (b1) RPPs of Xilinhot typical steppe; (c1) RPPs of Sonid Left Banner desert steppe; (a2) backgrounds of Hulunbuir forest steppe; (b2) backgrounds of Xilinhot typical steppe; (c2) backgrounds of Sonid Left Banner desert steppe

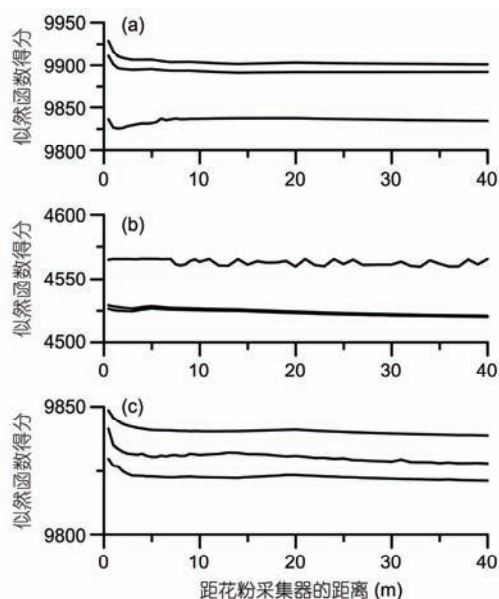


图3 似然函数得分随距离变化曲线。(a) 呼伦贝尔森林草原; (b) 锡林浩特典型草原; (c) 苏尼特左旗荒漠草原

Figure 3 Likelihood function scores for three ERV sub-models. (a) Hulunbuir forest steppe; (b) Xilinhot typical steppe; (c) Sonid Left Banner desert steppe

其中, 蒿属植物被明显高估, 而且禾本科也被明显地低估。

4 讨论

4.1 不同地区RPP产生差异的原因

三个子模型输出的呼伦贝尔森林草原、锡林浩特典型草原和苏尼特左旗荒漠草原5种花粉类型RPP结果并不一致。本文主要依据由ERV模型得到的似然函数得分和RPP的标准差来筛选3个子模型的输出结果。其中, 似然函数得分较低与标准差较小的子模型估算的RPP最为可信。

在呼伦贝尔森林草原5种花粉类型RPP的结果中, 由于子模型3所得到的似然函数得分曲线趋势优于子模型1, 并且得分小于子模型2, 同时RPP的标准差较小, 所以认为子模型3估算出的RPP更为可靠。因此, 藜科的RPP最大(4.46), 其次是莎草科(1.09)和蒿属(1.00), 菊科(0.30)和禾本科(0.41)最小。蒿属的背景值较大(0.23), 其他均很小。RSAP为20 m。

在锡林浩特典型草原5种花粉类型RPP的结果中, 由于子模型3得到的似然函数得分曲线趋势最好且得分最低, 同时RPP的标准差较小, 所以本文选取

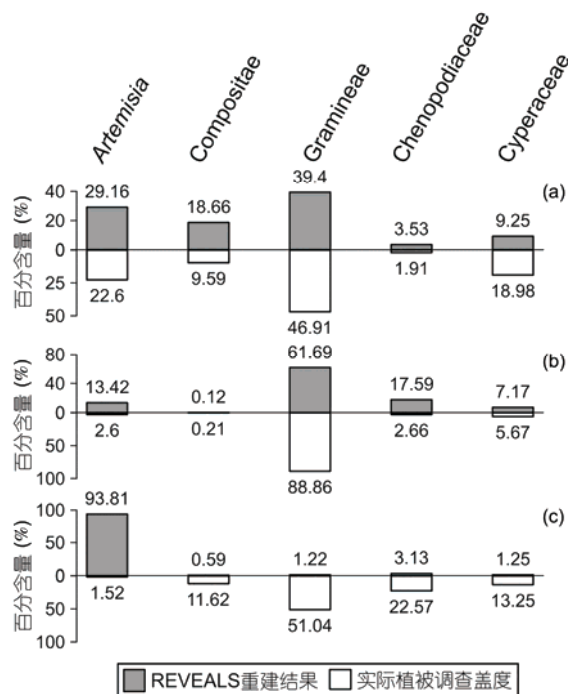


图4 REVEALS重建结果与实际植被调查盖度对比。(a) 呼伦贝尔森林草原; (b) 锡林浩特典型草原; (c) 苏尼特左旗荒漠草原

Figure 4 Comparison of actual and simulated vegetation coverage percentage. (a) Hulunbuir forest steppe; (b) Xilinhot typical steppe; (c) Sonid Left Banner desert steppe

了子模型3所估算的RPP为锡林浩特的最终结果, 即菊科(4.72)为最大, 其余依次是藜科(2.05), 蒿属(1.00), 禾本科(0.01), 莎草科(1.31×10^{-3})。所有花粉类型的背景值均很小。RSAP为9 m。

由于在苏尼特左旗荒漠草原进行植被调查时, 发现苏尼特左旗荒漠草原裸地较多^[34], 不符合子模型2的假设条件; 同时, 子模型2估算的RPP的标准差太大; 而且子模型3估算的RPP值过大, 不符合常理; 因此, 选择子模型1的估算结果作为苏尼特左旗荒漠草原5种花粉类型的RPP最为合理。其中, 藜科(36.23)的RPP最大, 其次是菊科(6.72), 禾本科(2.15), 蒿属(1.00), 莎草科(0.41)最小。除藜科和蒿属背景值较大外, 其余接近0。RSAP为7 m。

对比3个地区所估算筛选出的5种花粉类型的RPP(图5)发现, 相同花粉类型的RPP值在不同地区有明显的差异, 尤其是苏尼特左旗荒漠草原藜科的RPP远大于呼伦贝尔森林草原和锡林浩特典型草原。

产生这种差异的原因是由于呼伦贝尔森林草原-锡林浩特典型草原-苏尼特左旗荒漠草原的花粉-植被关系明显不同所致(图6)。

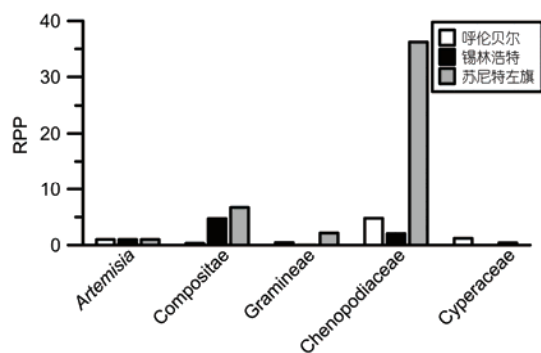


图5 呼伦贝尔森林草原-锡林浩特典型草原-苏尼特左旗荒漠草原筛选得到的5种花粉类型(蒿属、菊科、禾本科、藜科和莎草科)的RPP对比

Figure 5 Comparison of the selected RPPs of *Artemisia*, *Compositae*, *Cyperaceae* and *Chenopodiaceae* in Hulunbuir forest steppe, Xilinhot typical steppe and Sonid Left Banner desert steppe

由于3个地区花粉类型百分含量DCA排序的最大梯度长度为1.4, 表明可以使用PCA排序对其进行进一步分析. 从图6(a)看出, 藜科和莎草科花粉的百分含量能有效区分呼伦贝尔森林草原、锡林浩特典型草原和苏尼特左旗荒漠草原. 其中, 苏尼特左旗荒漠草原的藜科花粉百分含量最高, 锡林浩特典型草原的藜科花粉百分含量略低于苏尼特左旗荒漠草原, 呼伦贝尔森林草原则远低于前两者. 莎草科花粉百分含量则与藜科相反, 呼伦贝尔森林草原的莎草科花粉百分含量最高, 锡林浩特典型草原的莎草科花粉百分含量略高于苏尼特左旗荒漠草原, 苏尼特左旗荒漠草原的莎草科花粉百分含量最低.

呼伦贝尔森林草原-锡林浩特典型草原-苏尼特左旗荒漠草原的植被相盖度PCA(DCA排序的最大梯度长度为2.2)排序结果显示(图6(b)), 藜科植物的相对盖度虽然也可以区分呼伦贝尔森林草原、锡林浩特典型草原和苏尼特左旗荒漠草原的植被类型, 但却没有孢粉区分的效果好. 其中, 苏尼特左旗荒漠草原的藜科植物相对盖度最高, 但最低处却和呼伦贝尔森林草原以及锡林浩特典型草原相近. 呼伦贝尔森林草原和锡林浩特典型草原的藜科植物相对盖度很接近, 但呼伦贝尔森林草原藜科植物相对盖度还是略低于锡林浩特典型草原. 莎草科植物相对盖度却无法把3个地区的植被区分开.

苏尼特左旗荒漠草原的藜科植物的花粉百分比含量远高于呼伦贝尔森林草原, 略高于锡林浩特典型草原; 而苏尼特左旗荒漠草原的藜科植物的相对盖度略高于呼伦贝尔森林草原和锡林浩特典型草原, 这说明苏尼特左旗荒漠草原的藜科植物产生花粉的数量要高于呼伦贝尔森林草原和锡林浩特典型草原的藜科植物. 因此苏尼特左旗荒漠草原藜科的RPP远大于呼伦贝尔森林草原和锡林浩特典型草原. 苏尼特左旗荒漠草原的莎草科植物的花粉百分比含量最低, 但植物相对盖度却和呼伦贝尔森林草原和锡林浩特典型草原相近, 表明苏尼特左旗荒漠草原莎草科植物的花粉产量低于呼伦贝尔森林草原和锡林浩特典型草原. 因此, 苏尼特左旗荒漠草原莎草科的RPP远小于呼伦贝尔森林草原和锡林浩特典型草原.

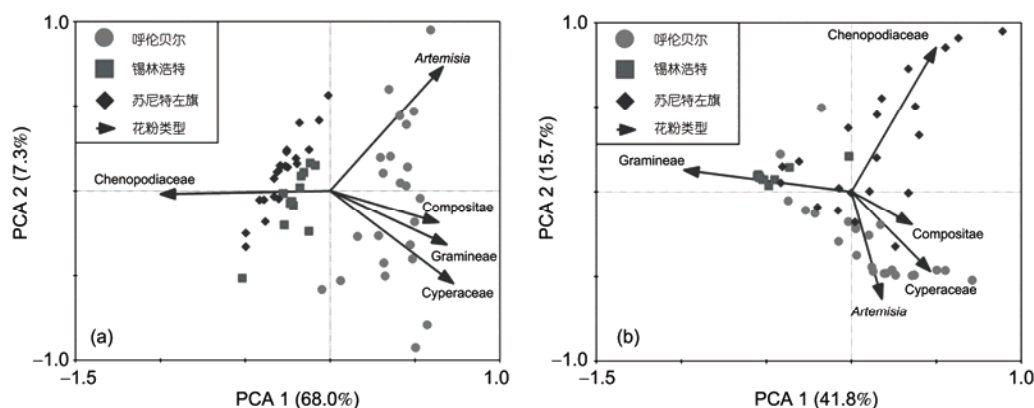


图6 呼伦贝尔森林草原-锡林浩特典型草原-苏尼特左旗荒漠草原5种花粉类型(蒿属、菊科、禾本科、藜科和莎草科)百分含量(a)和植物相对盖度(b)PCA排序结果. 其中, 百分含量第一轴占总梯度长度的 68.0%, 第二轴 7.3%; 植物相对盖度第一轴占总梯度长度的 41.8%, 第二轴 15.7%

Figure 6 The results of PCA denoted by pollen percentage (a) and relative coverage of plants (b) in Hulunbuir forest steppe, Xilinhot typical steppe and Sonid Left Banner desert steppe. The eigenvalue of PCA 1 is 68.0%, and of PCA 2 is 7.3% in pollen percentage. And the eigenvalue of PCA 1 is 41.8%, and of PCA 2 is 15.7% in relative coverage of plants

三个地区同一种花粉类型RPP出现差异的主要原因是因为植物物种不同. 根据植被调查, 呼伦贝尔森林草原的产生藜科花粉的植物以灰绿藜(*Chenopodium glaucum*)和猪毛菜(*Salsola collina*)为主; 锡林浩特典型草原以猪毛菜为主; 苏尼特左旗荒漠草原以刺沙蓬(*Salsola ruthenica*)和驼绒藜(*Ceratoides latens*)为主. 由于呼伦贝尔森林草原和锡林浩特典型草原的主要藜科植物相似且不同于苏尼特左旗荒漠草原, 因此呼伦贝尔森林草原和锡林浩特典型草原藜科的RPP相近, 远小于苏尼特左旗荒漠草原. 三个地区产生莎草科花粉的植物种也不同, 呼伦贝尔森林草原的产生莎草科花粉的植物以苔草(*Carex* sp.)和日阴菅(*Carex pediformis*)为主; 锡林浩特典型草原以寸草苔(*Carex duriuscula*)为主; 苏尼特左旗荒漠草原以苔草为主.

本次研究所估算5种花粉类型的RPP结果与前人在锡林格勒温带草原^[17]、坝上典型草原^[15]、鄂尔多斯高原和阿拉善高原上荒漠-荒漠草原^[16]、青藏高原高寒草原^[18]以及爱沙尼亚^[33]等地区的结果对比发现(表2), 同种花粉类型的RPP在不同地区的估算结果不同. 菊科的RPP在锡林浩特典型草原和苏尼特左旗荒漠草原最大, 呼伦贝尔森林草原和坝上典型草原较小, 锡林格勒温带草原最小. 禾本科的RPP在苏尼特左旗荒漠草原最大, 呼伦贝尔森林草原、青藏高原高寒草原和爱沙尼亚次之, 锡林郭勒温带草原和坝上典型草原较小, 鄂尔多斯高原和阿拉善高原上荒漠-荒漠草原以及锡林浩特典型草原最小. 藜科的RPP在苏尼特左旗荒漠草原最大, 呼伦贝尔森林草

原、锡林浩特典型草原、坝上典型草原和青藏高原高寒草原次之, 锡林格勒温带草原以及鄂尔多斯高原和阿拉善高原上荒漠-荒漠草原最小. 莎草科的RPP在呼伦贝尔森林草原最大, 苏尼特左旗荒漠草原、坝上典型草原、青藏高原高寒草原和爱沙尼亚次之, 锡林浩特典型草原最小.

Xu等人^[20]在锡林郭勒温带草原估算出藜科的RPP大于莎草科, 这与本研究在锡林浩特典型草原的结果相同. 原因在于, 藜科植物在锡林浩特典型草原的植物种类(11个属, 27个种)大于莎草科(6个属, 23个种), 并且藜科植物更适合在锡林浩特典型草原生长繁殖^[35]. 在苏尼特左旗荒漠草原, 蒿属的RPP远小于其他花粉类型, 表明了苏尼特左旗的气候极其不适合蒿属植物生长及繁殖, 使得其花粉产量很低, 从而突显其他植物的RPP较大, 这也与阳伏林等人^[34]的调查结果相似.

相同花粉类型在不同地区的RPP存在差异的原因除了气候条件以及植物物种不同以外, 还与花粉沉降速率有关. 在本文的研究中, 蒿属花粉的沉降速率大于中国其他学者的估算结果, 同时蒿属又是参照植物, 因此对结果产生了一定的影响.

那么, 本次研究的所使用的花粉沉降速率是否可靠呢? 本文利用Stokes Law来计算花粉沉降速率, 花粉长短轴的测量会直接影响Stokes Law中所需的参数——花粉半径和长短轴比. 本文所测量的花粉均是现代的标准花粉, 未经过硫酸醋酸酐等试剂的处理, 因此不会影响花粉的大小与形态. 在半径数据的处理中, 所采用椭球体化成球体的方法均符合

表2 不同地区草本植物RPP(蒿属为重新标准化的参考植物)
Table 2 RPP for the five pollen types used in the analysis in different study areas

研究区	子模型	蒿属	菊科	禾本科	藜科	莎草科	参照植物	文献来源
呼伦贝尔森林草原	子模型3	1.00	0.33	0.44	4.78	1.21	蒿属	本次研究
锡林浩特典型草原	子模型3	1.00	4.72	0.01	2.05	1.31×10^{-3}	蒿属	本次研究
苏尼特左旗荒漠草原	子模型1	1.00	6.72	2.15	36.23	0.41	蒿属	本次研究
锡林格勒温带草原	子模型1	1.00	0.02	0.09	0.54	0.08	禾本科	Xu等人 ^[17]
	子模型2	1.00	0.03	0.09	0.60	0.08	禾本科	
坝上典型草原	子模型3	1.00	0.40	0.05	1.09	0.46	禾本科	葛亚汶等人 ^[15]
鄂尔多斯高原和阿拉善高原上荒漠-荒漠草原	子模型1	1.00		4.41×10^{-3}	0.32		藜科	Li等人 ^[16]
青藏高原高寒草原	子模型1	1.00		0.48	2.62	0.50	禾本科	Wang和Herzschuh ^[18]
	子模型2	1.00		0.30	1.64	0.20	禾本科	
爱沙尼亚	子模型1	1.00		0.29		0.35	禾本科	Poska等人 ^[33]

Stokes Law是预测圆球在黏性介质中运动这一假定条件。同时,花粉类型选择的是这3个地区5种类别植物中最常见的物种(蒿属为冷蒿,藜科为猪毛菜,禾本科为羊草,菊科为麻花头,莎草科为苔草),排除了花粉类型差异所造成的影响。此外,被选择在显微镜下进行测量的花粉均是随机挑选且无折叠的。上述这些步骤,均尽量减小了测量过程中所产生的人为误差。经过对比,本研究所估算的花粉沉降速率与国际上广泛使用的沉降速率很接近。因此,本文的沉降速率数据是可靠的。

4.2 影响RSAP的因素

呼伦贝尔森林草原、锡林浩特典型草原和苏尼特左旗荒漠草原3个地区的似然函数得分随距离变化曲线的趋势均表现为随距离的增加,得分逐渐降低,最终趋于水平。这和欧洲地区研究结果^[11,26,36~39]很接近。

在苏格兰高地和挪威的霍兰达郡的石楠灌丛, Bunting^[38], Bunting和Hjelle^[40]对苔藓样品中非乔木花粉的RSAP进行了估算,发现其RSAP在2~4 m,本研究得到的RSAP在8~20 m,两者较为接近。产生较小的RSAP有以下几方面的原因。(1)样品中花粉类型均为非乔木植物花粉。乔木植物花粉产生于树冠,容易受到风力作用的影响,因此可以传播得很远。而草本植物的花粉产生的位置远低于乔木,风力作用难以扬起。欧洲^[8]封闭森林苔藓样品含乔木花粉的RSAP为50~150 m,美国^[41]的为120~130 m;而半开放式的森林^[36,42,43]RSAP较大,为300~1000 m;森林地区的湖泊样品的^[11,13,33,37,44]RSAP则更大,为600~2000 m。(2)本文使用trap样品,模型输入中半径较小(0.05 m)。通常认为,沉积盆地半径越大,RSAP越大^[27]。Sugita^[4,5]估算了森林内表土及湖泊的RSAP,认为半径小于2 m的林间空地的RSAP为50~100 m,半径小于50 m的小型湖泊RSAP为300~400 m,半径小于250 m的中型湖泊RSAP在600~800 m之间。而沉积盆地仅是开口内径为5 cm的花粉采集器,即沉积盆地半径为0.025 m,估算的RSAP为8~20 m是合理的。(3)本研究的花粉沉降速率比中国其他学者得到的相同花粉类型的沉降速率大,与欧洲较为接近(表1)。Sugita^[4]根据沉降速率将花粉分为重花粉(沉降速率大于0.087 m/s)、较重花粉(大于0.038 m/s)、较轻花粉(大于0.025 m/s)和轻花粉(小于0.025 m/s),并认为花粉沉降速率越小,风力传播能力越强,RSAP越大。本

研究中,蒿属、菊科花粉属于轻花粉,禾本科、藜科、莎草科花粉属于较轻花粉,这与中国其他研究得到的5种花粉类型花粉均是轻花粉不同,因此本文估算的RSAP也比较小。

4.3 REVEALS重建结果产生偏差的原因

从图4可以看出,呼伦贝尔森林草原和锡林浩特典型草原的REVEALS重建结果和实际植被调查盖度较为接近,表明呼伦贝尔森林草原和锡林浩特典型草原所估算的5种花粉类型的RPP是可信的。但是在苏尼特左旗荒漠草原,蒿属被明显高估,其中的原因有:首先是孢粉仅仅收集了3年的数据,年限较短;其次是样方较少,少于估算5种花粉类型所需的10个样方,只能用同一样方的不同trap来代替,使得样方间的差异不足,孢粉数据可能存在自相关;同时,苏尼特左旗荒漠草原RPP估算结果中,蒿属背景值过大,导致REVEALS结果中,蒿属被明显高估。

5 结论

(1)内蒙古草原5种花粉类型的沉降速率依次为禾本科(0.032 m/s)、莎草科(0.027 m/s)、藜科(0.027 m/s)、蒿属(0.021 m/s)、菊科(0.019 m/s),花粉均相对较轻。

(2)同一种花粉类型在呼伦贝尔森林草原、锡林浩特典型草原和苏尼特左旗荒漠草原RPP是不同的。呼伦贝尔森林草原的藜科RPP(4.78)最大,其余依次是莎草科(1.21)、蒿属(1.00)、禾本科(0.44)、菊科(0.33);锡林浩特典型草原的菊科RPP(4.72)最大,其余依次是藜科(2.05)、蒿属(1.00)、禾本科(0.01)、莎草科(1.31×10^{-3});苏尼特左旗荒漠草原的藜科RPP(36.25)最大,其余依次是菊科(6.72)、禾本科(2.15)、蒿属(1.00)、莎草科(0.41)。RPP有差异的原因是3个地区相同花粉类型对应的植物物种不同。检验结果表明,呼伦贝尔森林草原和锡林浩特典型草原的RPP比较可靠,苏尼特左旗荒漠草原的RPP还需要做更多的工作。

(3)呼伦贝尔森林草原、锡林浩特典型草原和苏尼特左旗荒漠草原得到的RSAP均在8~20 m,与Bunting^[38]对非乔木花粉的研究结果相近,但小于其他人在森林地区使用苔藓或湖泊样品所得的RSAP。产生这种差异的主要原因可能是本文的研究材料均为trap样品。

参考文献

- Andersen S T. Relative pollen productivity and pollen representation of North European trees, and correction factors for tree pollen spectra. *Geol Surv Denmark Ser II*, 1970, 96: 1–99
- Parsons R W, Prentice I C. Statistical approaches to *R*-values and the pollen—Vegetation relationship. *Rev Palaeobot Palynol*, 1981, 32: 127–152
- Prentice I C, Parsons R W. Maximum likelihood linear calibration of pollen spectra in terms of forest composition. *Biometrics*, 1983, 39: 1051–1057
- Sugita S. A model of pollen source area for an entire lake surface. *Quat Res*, 1993, 32: 239–244
- Sugita S. Pollen representation of vegetation in Quaternary sediments: Theory and method in patchy vegetation. *J Ecol*, 1994, 82: 881–897
- Sugita S, Gaillard M J, Broström A. Landscape openness and pollen records: A simulation approach. *Holocene*, 1999, 9: 409–421
- Sugita S. Theory of quantitative reconstruction of vegetation I: Pollen from large sites REVEALS regional vegetation composition. *Holocene*, 2007, 17: 229–241
- Bunting M J, Armitage R, Binney H A, et al. Estimates of ‘relative pollen productivity’ and ‘relevant source area of pollen’ for major tree taxa in two Norfolk (UK) woodlands. *Holocene*, 2005, 15: 459–465
- Bunting M J, Grant M J, Waller M. Approaches to quantitative reconstruction of woody vegetation in managed woodlands from pollen records. *Rev Palaeobot Palynol*, 2016, 225: 53–66
- Broström A, Sugita S, Gaillard M J. Pollen productivity estimates for the reconstruction of past vegetation cover in the cultural landscape of southern Sweden. *Holocene*, 2004, 14: 368–381
- Soepboer W, Sugita S, Lotter A F, et al. Pollen productivity estimates for quantitative reconstruction of vegetation cover on the Swiss Plateau. *Holocene*, 2007, 17: 65–77
- Hjelle K L. Herb pollen representation in surface moss samples from mown meadows and pastures in western Norway. *Veg Hist Archaeobot*, 1998, 7: 79–96
- Hjelle K L, Sugita S. Estimating pollen productivity and relevant source area of pollen using lake sediments in Norway: How does lake size variation affect the estimates? *Holocene*, 2011, 22: 313–324
- Li Y, Nielsen A B, Zhao X, et al. Pollen production estimates (PPEs) and fall speeds for major tree taxa and relevant source areas of pollen (RSAP) in Changbai Mountain, northeastern China. *Rev Palaeobot Palynol*, 2015, 216: 92–100
- Ge Y W, Li Y C, Li Y, et al. Relevant source area of pollen and relative pollen productivity estimates in Bashang steppe (in Chinese). *Quat Sci*, 2015, 35: 934–945 [葛亚汶, 李月丛, 李英, 等. 坝上草原相关花粉源范围与相对花粉产量估算. 第四纪研究, 2015, 35: 934–945]
- Li Y, Bunting M J, Xu Q, et al. Pollen-vegetation-climate relationships in some desert and desert-steppe communities in northern China. *Holocene*, 2011, 21: 997–1010
- Xu Q H, Cao X, Tian F, et al. Relative pollen productivities of typical steppe species in northern China and their potential in past vegetation reconstruction. *Sci China Earth Sci*, 2013, 57: 1254–1266
- Wang Y B, Herzschuh U. Reassessment of Holocene vegetation change on the upper Tibetan Plateau using the pollen-based REVEALS model. *Rev Palaeobot Palynol*, 2011, 168: 31–40
- Zhang X S. Vegetation Map of the Republic of China (1:1000000) (in Chinese). Beijing: Geological Publishing House, 2007 [张新时. 中华人民共和国植被图(1:1000000). 北京: 地质出版社, 2007]
- Xu Q H, Li Y C, Tian F, et al. Pollen assemblages of tauber traps and surface soil samples in steppe areas of China and their relationships with vegetation and climate. *Rev Palaeobot Palynol*, 2009, 153: 86–101
- Tauber H. A static non-overload pollen collector. *New Phytol*, 1974, 73: 359–369
- Bunting M J, Farrell M, Broström A, et al. Palynological perspectives on vegetation survey: A critical step for model-based reconstruction of Quaternary land cover. *Quat Sci Rev*, 2013, 82: 41–55
- Fægri K, Kaland P E, Krzywinski K. Textbook of Pollen Analysis. Oxford: John Wiley & Sons Ltd, 1989. 1–295
- Gregory P. The microbiology of the atmosphere. *Soil Sci*, 1973, 94: 349
- Jackson S T, Lyford M E. Pollen dispersal in quaternary plant ecology: Assumptions, parameters, and prescriptions. *Bot Rev*, 1999, 65: 39–75
- Abraham V, Kozáková R. Relative pollen productivity estimates in the modern agricultural landscape of Central Bohemia (Czech Republic). *Rev Palaeobot Palynol*, 2012, 179: 1–12

- 27 Prentice I C. Pollen representation, source area, and basin size: Toward a unified theory of pollen analysis. *Quat Res*, 1985, 23: 76–86
- 28 Leps J, Smilauer P. *Multivariate Analysis of Ecological Data Using CANOCO*. Cambridge: Cambridge University Press, 2003. 43–59
- 29 Davis J C. *Statistics and Data Analysis in Geology*. New York: John Wiley & Sons Ltd., 1986. 159–288
- 30 Hellman S, Gaillard M J, Broström A, et al. The REVEALS model, a new tool to estimate past regional plant abundance from pollen data in large lakes: Validation in southern Sweden. *J Quat Sci*, 2008, 23: 21–42
- 31 Braak T, Smilauer P. *CANOCO Reference Manual and CanoDraw for Windows User's Guide*. Software for Canonical Community Ordination, Version 4.5. Ithaca NY: USA Microcomputer Power, 2002
- 32 Gower J C. *Principal Coordinates Analysis*. London: John Wiley & Sons, Ltd., 2005. 3514–3518
- 33 Poska A, Meltsov V, Sugita S, et al. Relative pollen productivity estimates of major anemophilous taxa and relevant source area of pollen in a cultural landscape of the hemi-boreal forest zone (Estonia). *Rev Palaeobot Palynol*, 2011, 167: 30–39
- 34 Yang F L, Zhou G S. Characteristics and driving factors of energy budget over a temperate desert steppe in Inner Mongolia (in Chinese). *Acta Ecol Sin*, 2010, 30: 5769–5780 [阳伏林, 周广胜. 内蒙古温带荒漠草原能量平衡特征及其驱动因子. *生态学报*, 2010, 30: 5769–5780]
- 35 Chen Z, Wang S. *China Typical Steppe Ecosystem* (in Chinese). Beijing: Science Press, 2000. 26–32 [陈佐忠, 汪诗平. 中国典型草原生态系统. 北京: 科学出版社, 2000. 26–32]
- 36 Mazier F, Broström A, Gaillard M J, et al. Pollen productivity estimates and relevant source area of pollen for selected plant taxa in a pasture woodland landscape of the Jura Mountains (Switzerland). *Veg Hist Archaeobot*, 2008, 17: 479–495
- 37 Nielsen A B, Sugita S. Estimating relevant source area of pollen for small Danish lakes around AD 1800. *Holocene*, 2005, 15: 1006–1020
- 38 Bunting M J. Pollen-vegetation relationships in non-arboreal moorland taxa. *Rev Palaeobot Palynol*, 2003, 125: 285–298
- 39 Bunting M J. Detecting woodland remnants in cultural landscapes: Modern pollen deposition around small woodlands in northwest Scotland. *Holocene*, 2002, 12: 291–301
- 40 Bunting M J, Hjelle K L. Effect of vegetation data collection strategies on estimates of relevant source area of pollen (RSAP) and relative pollen productivity estimates (relative PPE) for non-arboreal taxa. *Veg Hist Archaeobot*, 2010, 19: 365–374
- 41 Sugita S, Parshall T, Calcote R, et al. Testing the landscape reconstruction algorithm for spatially explicit reconstruction of vegetation in northern Michigan and Wisconsin. *Quat Res*, 2010, 74: 289–300
- 42 Stedingk H V, Fyfe R M, Allard A. Pollen productivity estimates from the forest-tundra ecotone in west-central Sweden: Implications for vegetation reconstruction at the limits of the boreal forest. *Holocene*, 2008, 18: 323–332
- 43 Räsänen S, Suutari H, Nielsen A B. A step further towards quantitative reconstruction of past vegetation in Fennoscandian boreal forests: Pollen productivity estimates for six dominant taxa. *Rev Palaeobot Palynol*, 2007, 146: 208–220
- 44 Duffin K I, Bunting M J. Relative pollen productivity and fall speed estimates for southern African savanna taxa. *Veg Hist Archaeobot*, 2008, 17: 507–525

A comparison of relative pollen productivity from forest steppe, typical steppe and desert steppe in Inner Mongolia

HE Fei, LI YiYin, WU Jing & XU YaoZhong

Laboratory for Earth Surface Processes, College of Urban and Environmental Sciences, Peking University, Beijing 100871, China

Relative pollen productivity (RPP) is the ratio of the absolute pollen productivity of a certain pollen taxon to the pollen reference taxon. It is an important parameter that can be used for quantitative reconstruction of paleovegetation at a landscape scale. Here we report a study on the estimation of the RPPs of five common pollen types of grassland vegetation from forest steppe, typical steppe and desert steppe in Hulunbuir, Xilinhot and Sonid Left Banner of Inner Mongolia. We used a 1 m×1 m quadrat to record plant species, rooted frequency and percentage cover at upwind to downwind direction at 0, 1, 2, 3.5, 5.5, 7.5, 9.5, 14.5 and 19.5 m distance from the trap. For the sites of 20–100 m distance from the trap, we investigated vegetation composition of the 1 m × 1 m quadrat with a 10-m interval. In the three study areas, *Artemisia*, Compositae, Gramineae, Chenopodiaceae and Cyperaceae were dominant plants. In the Hulunbuir forest steppe, *Artemisia* and Gramineae had the highest percentage. In the Xilinhot with typical steppe and the Sonid Left Banner with desert steppe, the percentage of Gramineae was the highest. We collected the pollen samples using modified Tauber traps from 2007 to 2013. The percentage of Chenopodiaceae in the Hulunbuir forest steppe was the lowest, but reached the highest in the Sonid Left Banner desert steppe, in contrast to those of Compositae, Gramineae and Cyperaceae. Our results show that the fall speed (v_g) varies among the five pollen types with 0.032 m/s for Gramineae, 0.027 m/s for Cyperaceae and Chenopodiaceae, 0.021 m/s for *Artemisia* and 0.019 m/s for Compositae. The $RPP_{Che.}$ was found the highest and $RPP_{Gra.}$ the lowest in the three areas. When we used *Artemisia* as a reference taxon, the RPPs of the same pollen type are different in the three areas. For example, in the Hulunbuir forest steppe, the $RPP_{Art.}$ was 1.00, $RPP_{Com.}$ was 0.33, $RPP_{Gra.}$ was 0.44, $RPP_{Che.}$ was 4.78 and $RPP_{Cyp.}$ was 1.21. However, in the Xilinhot typical steppe, $RPP_{Art.}$ became 1.00, $RPP_{Com.}$ 4.72, $RPP_{Gra.}$ 0.01, $RPP_{Che.}$ 2.05 and $RPP_{Cyp.}$ 1.31×10^{-4} ; in the Sonid Left Banner desert steppe, $RPP_{Art.}$ was 1.00, $RPP_{Com.}$ 6.72, $RPP_{Gra.}$ 2.15, $RPP_{Che.}$ 36.25 and $RPP_{Cyp.}$ 0.41 respectively. The main reasons for the RPP differences might be the species dissimilarity in diverse vegetation types and the number of the sampling sites used in the models. The estimated relevant source areas of pollens (RSAPs) in all the three areas were less than 20 m. The coverage of different plants was reconstructed by the REVEALS model and presented a large difference among the three areas. In the Hulunbuir forest steppe, the *Artemisia*'s coverage was 29.16%, Compositae 18.66%, Gramineae 39.40%, Chenopodiaceae 3.53% and Cyperaceae 9.25%. In the Xilinhot typical steppe, the coverage of *Artemisia* reached 13.42%, Compositae 0.12%, Gramineae 61.69%, Chenopodiaceae 17.59% and Cyperaceae 7.17%. And in the Sonid Left Banner desert steppe, *Artemisia* reached a coverage of 93.81%, Compositae 0.59%, Gramineae 1.22%, Chenopodiaceae 3.13% and Cyperaceae 1.25%. Compared with the actual vegetation coverage, the reconstructed coverage of *Artemisia* and Chenopodiaceae are higher, while that of Gramineae is far lower, which might be caused by the high background value of *Artemisia*.

relative pollen productivity (RPP), fall speed, relevant source areas of pollen (RSAP), vegetation survey, Inner Mongolian steppe

doi: 10.1360/N972016-00482