



Palaeoworld

This is a not-for-profit service that helps scholars, researchers, and students discover, use, and build upon a wide range of content in a trusted digital archive. We use information technology and tools to increase productivity and facilitate new forms of scholarship.

PALAEOWORLD Editorial Office

State Key Laboratory of Palaeobiology and Stratigraphy

Nanjing Institute of Geology and Palaeontology, Chinese Academy of Sciences

Beijingdonglu 39, 210008 Nanjing, PR China

e-mail: palaeoworld@nigpas.ac.cn

PALAEOWORLD online submission:

<http://ees.elsevier.com/palwor/>

PALAEOWORLD full-text (Volume 15 –) available at:

<http://www.sciencedirect.com/science/journal/1871174X>

长白山、小兴安岭地区花粉-气候 转换函数的初步研究*

沈才明 唐领余

(中国科学院南京地质古生物研究所)

一、前 言

自 Imbrie 和 Kipp(1971)首次应用多变量统计方法就温度、盐度和其它海洋学环境参数评价深海钻孔的浮游有孔虫以来,转换函数(transfer function, 又称校正函数 calibration function)被广泛应用于有孔虫(Brunner, 1979; Hutson and Prell, 1980)、硅藻(Burdele and Clark, 1977)、放射虫(Morley, 1979)、树木年轮(Fritts *et al.*, 1971)、花粉分析(Webb and Bryson, 1972; Bryson and Kutzback, 1974)。花粉-气候转换函数在北美(Webb and Bryson, 1972; Andrews *et al.*, 1980; Bartlein *et al.*, 1984)、南美(Heusser and Streeter, 1980)、印度(Bryson and Swain, 1981)、欧洲(Guiot, 1987)的研究已相当深入,但我国在这方面尚是空白,为此,作者选择了长白山、小兴安岭地区对花粉-气候转换函数作初步的研究。

二、基本原理

转换函数是联系生物组合及其环境的空间分布的方法,其模型可归结为生态矩阵方程:

$$E_m = X_m T_m$$

在这里, X_m 是指定的一定空间和时间跨度内的生物反应矩阵,如某些主要种属在一定时空跨度内的比率矩阵, E_m 是相同时空跨度内所测定的环境变量矩阵,假设两者存在函数关系, T_m 则为现代转换函数。如果假定转换函数是不随时间而变化的,那么我们就可根据化石组合 X_t 估计相同空间范围内的环境变量,即:

$$E_t = X_t T_m$$

在花粉分析中,依据花粉数据重建古气候的传统方法是,首先根据化石花粉组合 P_t 定性重建古植被 V_t ,然后依据重建的古植被定性重建古气候 C_t ,这两步重建的定量表示则为:

$$V_t = P_t R_m$$

$$C_t = V_t D_m$$

在这里, R_m 是现代花粉代表性系数, D_m 是表示现代植被和气候关系的生态方程,两者可结合为:

$$C_t = P_t (R_m D_m)$$

* 萧家仪老师为本文提供部分资料,在此感谢。

虽然现代花粉和植被间的关系 R_m 常量化,但植被与气候间的关系 D_m 极少量化,由于很难估计 D_m ,因此,我们采用另一种途径即转换函数 T_m 直接联系现代花粉组合和现代气候,即:

$$C_m = P_m T_m$$

这样,我们无需分别估计 R_m 和 D_m 就可直接得到 $R_m D_m$,即 T_m 。同样假设花粉-气候转换函数不随时间而变化,那么由化石花粉组合就可获得古气候估计:

$$C_f = P_f T_m$$

但利用 T_m 和化石花粉组合重建古气候,必须附加几个前提条件(Webb and Bryson, 1972): (1)气候是导致花粉记录变化的根本原因;(2)花粉组合反映的古植被始终是气候的反应,且与气候处于平衡状态;(3)估计转换函数 T_m 的数学方法中的线性关系充分代表了气候变量和花粉间的关系。Webb 和 Bryson(1972)认为,就研究的时间和空间规模而言,这些假设是有效的。

用于求取花粉-气候转换函数的数值方法包括线性回归分析(Howe and Webb, 1983),主成份分析(Heusser and Streeter, 1980; Andrews *et al.*, 1980)和典型相关分析(Webb and Bryson, 1972)。其中,多元线性回归分析是最简单、直接的方法,其它方法也仅是其模型的变化而已(Webb and Clark, 1977)。本文也采用多元线性回归分析。多元线性回归分析的数学模型是:

$$C_{i1} = \beta_{01} + \sum_{k=1}^i \beta_{k1} P_{ik} + \varepsilon_{i1} \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

C_{i1} 是某个气候变量在样点 i 的现代观测值(如年平均温度、年降雨量或七月均温、一月均温等), P_{ik} 是花粉种属 k 在样点的现代丰度, $\varepsilon_{11}, \varepsilon_{21}, \dots, \varepsilon_{n1}$ 是误差项, $\beta_{01}, \beta_{11}, \dots, \beta_{i1}$ 是回归系数。根据某些花粉变量和气候变量在一定数量样点的观测数据,极小化

$$\sum_{i=1}^n [(C_{i1} - \beta_{01} - \sum_{k=1}^i \beta_{k1} P_{ik})]^2$$

则可获得回归系数的估计值。

三、研究区花粉-气候转换函数的建立

1. 原始数据

现代花粉数据组来自长白山、小兴安岭地区的现代泥炭分布区(表 I),分布于 $40-50^{\circ}N$ 和 $114-119^{\circ}E$ 间。其材料均为泥炭,与将用于重建古气候的钻孔材料一致。由于研究区的现代植被受到一定程度的破坏,因此,我们选用的现代花粉谱主要来自现代沼泽地泥炭层的 $10-20cm$ 。尽管这样会导致现代花粉谱的时间跨度存在一定的差异,但作者认为,以其建立的转换函数比之用反映受到一定程度破坏的现代植被的表层花粉谱建立的转换函数更为真实、可靠。

相应的气候数据(年均温)是根据研究区及其邻近地区气象站 1951—1980 年资料以插值求得。

2. 原始变量

在研究区的现代花粉谱中,常见的木本植物花粉有 *Pinus*, *Larix*, *Picea*, *Abies*, *Betula*, *Quercus*, *Ulmus*, *Tilia*, *Carpinus*, *Corylus*, *Alnus*, *Juglans*, *Acer*, *Salix*, *Fraxinus*, *Celtis*, *Ostrya* 等;草本植物花粉有 Gramineae, Cyperaceae, Compositae, Chenopodiaceae 以及 *Artemisia* 和 *Sanguisorba* 等。在选取花粉变量时,我们首先删除对气温变化敏感性差的草本植物花粉,选择木本植物花粉作为候选变量,同时,为避免少量花粉类型在某些花粉谱中缺失或含量太少而导致异常,我们将几个生态意义

表 I 现代花粉谱的地理位置

序号	地点	省份	纬度(N)	经度(E)	海拔(m)	材料	资料来源
1	翠峦沼泽	黑龙江	47.4	128.7	250	泥炭	伊怀宁,1984
2	前进沼泽	黑龙江	48.3	128.4	500	泥炭	伊怀宁,1984
3	加吉河沼泽	黑龙江	48.7	128.1	380	泥炭	伊怀宁,1984
4	汤红岭沼泽	黑龙江	48.4	129.1	465	泥炭	伊怀宁,1984
5	伊春河沼泽	黑龙江	47.4	128.7	320	泥炭	周昆叔等,1984
6	红星沼泽	黑龙江	48.0	129.4	350	泥炭	周昆叔等,1984
7	新春沼泽	黑龙江	48.5	129.2	380	泥炭	周昆叔等,1984
8	萝北沼泽	黑龙江	47.4	131.2	50	泥炭	王曼华等,1979
9	勤得利沼泽	黑龙江	47.9	133.2	50	泥炭	王曼华等,1979
10	创业沼泽	黑龙江	48.0	134.1	50	泥炭	杨永兴,1990
11	别拉洪河沼泽	黑龙江	47.6	133.6	50	泥炭	夏玉梅,1988
12	申家店沼泽	黑龙江	47.0	126.6	500	泥炭	夏玉梅,1988
13	清河沼泽	黑龙江	46.6	132.8	50	泥炭	夏玉梅,1988
14	杨木沼泽	黑龙江	45.5	132.2	100	泥炭	夏玉梅,1988
15	同心沼泽	黑龙江	45.5	131.9	130	泥炭	萧家仪等,1987
16	白泡子沼泽	黑龙江	45.3	131.9	70	泥炭	萧家仪等,1987
17	海浪沼泽	黑龙江	44.2	129.2	380	泥炭	萧家仪等,1987
18	毛道庙沼泽	黑龙江	45.0	129.6	230	泥炭	萧家仪等,1987
19	红桥窝子沼泽	黑龙江	44.8	130.4	340	泥炭	萧家仪等,1987
20	光明沼泽	吉林	45.0	126.6	100	泥炭	裘善文等,1981
21	老爷府沼泽	吉林	42.2	126.4	775	泥炭	袁绍敏等,1990
22	大甸子沼泽	吉林	42.4	126.5	450	泥炭	本文
23	孤山屯沼泽	吉林	42.0	126.0	500	泥炭	刘金陵,1989
24	哈尔巴岭沼泽	吉林	43.2	128.6	1000	泥炭	王曼华等,1979
25	大川沼泽	吉林	43.4	127.9	500	泥炭	周昆叔等,1977
26	黄泥河沼泽	吉林	43.6	128.0	500	泥炭	周昆叔等,1977
27	亮兵台沼泽	吉林	43.6	128.0	500	泥炭	周昆叔等,1977
28	官地沼泽	吉林	43.6	128.4	600	泥炭	王曼华等,1979
29	奢岭沼泽	吉林	43.5	126.0	300	泥炭	裘善文等,1981
30	漫北沼泽	吉林	41.9	127.4	880	泥炭	周昆叔等,1984
31	漫江沼泽	吉林	41.9	127.4	960	泥炭	周昆叔等,1984

相近的花粉类型合并为一个候选变量,即 *Abies* 和 *Picea* 合并为 *Abies + Picea*, *Ulmus* 和 *Tilia* 合并为 *Ulmus + Tilia*, *Carpinus*, *Corylus*, *Alnus* 和 *Juglans* 合并为 *Carpinus + Corylus + Alnus + Juglans*。随后,我们选择符合主观标准——花粉平均含量大于 3% 的候选变量作为正式候选变量。选择得出 *Abies + Picea*, *Pinus*, *Betula*, *Quercus*, *Carpinus + Corylus + Alnus + Juglans* 和 *Ulmus + Tilia* 六个正式候选变量,同时以这些花粉类型的花粉总数重新计算新的百分比数据。

在确定了正式候选变量后,根据新的百分比数据作散布图,以判断其与年均温的关系,同时据此剔除异常样点。所选择的六个变量与年均温均存在显著的线性关系(表 I)。根据散布图,我们剔除了 10、14、18、27、29 五个异常样点。

表 I 六个变量与年均温的相关系数

变 量	相 关 系 数
$(Abies + Picea)^{0.25}$	-0.569
<i>Pinus</i>	-0.423
<i>Betula</i>	-0.434
$Quercus^{0.25}$	0.855
<i>Carpinus + Corylus + Alnus + Juglans</i>	0.707
$(Ulmus + Tilia)^{0.25}$	0.695

3. 回归分析

根据六个变量和年均温在 26 个样点的观察值,计算得出回归方程为:

$$T = -2.342 - 0.087(Abies + Picea)^{0.25} + 0.008Pinus - 0.027Betula + 1.925Quercus^{0.25} + 0.054(Carpinus + Corylus + Alnus + Juglans) + 0.801(Ulmus + Tilia)^{0.25}$$

回归方程的统计检验(表 II)表明,回归方程的 F 值远大于 $F_{0.01}(3.59)$,且方程有极高的复相关系数和很小的标准误差,说明回归效果是显著的。

表 II 回归方程的统计检验

方差来源	平方和	自由度	平均平方和	F 值	复相关系数	标准误差	显著性
回归	55.095	6	9.183	57.7	0.934	0.4°C	显著
残余	3.024	19	0.159				

四、古气温重建

在建立了研究区的花粉-气温转换函数后,我们选择了孤山屯沼泽(刘金陵,1990)来重建古气温。首先计算以六个变量为总数的百分比,然后根据转换函数计算出 13 400a B. P. 以来的年均温(插图 1)。

计算结果表明,距今 13 400—12 600 年间的年均温比现今低 2.5°C—3°C,在距今 12 600—12 000 年间的年均温低于现今 5°C 左右,在距今 12 000—11 400 年间,气温上升,年均温低

于现今 2℃,其后,气温又复下降,在距今 11 400—10 300 年间的年均温低于现今 3℃—4℃。自距今 10 300 年以后,气温逐渐上升,至距今 9 800 年,气温与目前接近,随后的 1 800 年,古气温略有波动,但与现今年均温的差值大多不超过±0.5℃。距今 8 000—4 000 年是本区的高温期,大部分时间的气温高于现在 1.7℃—2.6℃。距今 4 000 年开始,气温逐渐下降,至距今 2 300 年,气温又与现在接近,随后的气温无明显的变化,始终波动于现年均温左右。

将分析结果与刘金陵(1990)根据植被推测的古气温变化结果相比较,除距今 11 400 年以前的结果有所差异外,两者的分析结果非常一致(表 IV)。上述差异可能与表层样点未能覆盖此期的植被类型,其所在时期超出转换函数应用的时间范围有关。

表 IV 定时重建的古气温与定性重建的古气温的比较

刘金陵(1989)					本文
时代	¹⁴ C 年代 (aB. P.)	花粉带	植被	气候	重建的古年均温
全新世	晚期	III b	针阔叶混交林	温和 降温 凉	2.8℃—3.5℃
	—2000	III a		减温	3.8℃—4.2℃
	中期	II b	栎 胡桃 榆科 阔叶 林	气候 适宜期 高温 期	4.6℃—5.6℃ (距今 6 500 和 4 800 年 出现较明显的降温事件, 当时的年均温分别为 4.1℃和 3.8℃,与前 期年均温分别相差 1.4℃和 1℃
	—4000				—6000
	早期	I a	榆、栎 阔叶林	升温 期	2.5℃—4℃
—8000	—10000	I b	混交林 桦林	低温 期	-0.6℃—1.4℃
晚冰期	—12000	I a	苔原相?	低温 期	-1.8℃—0.9℃?

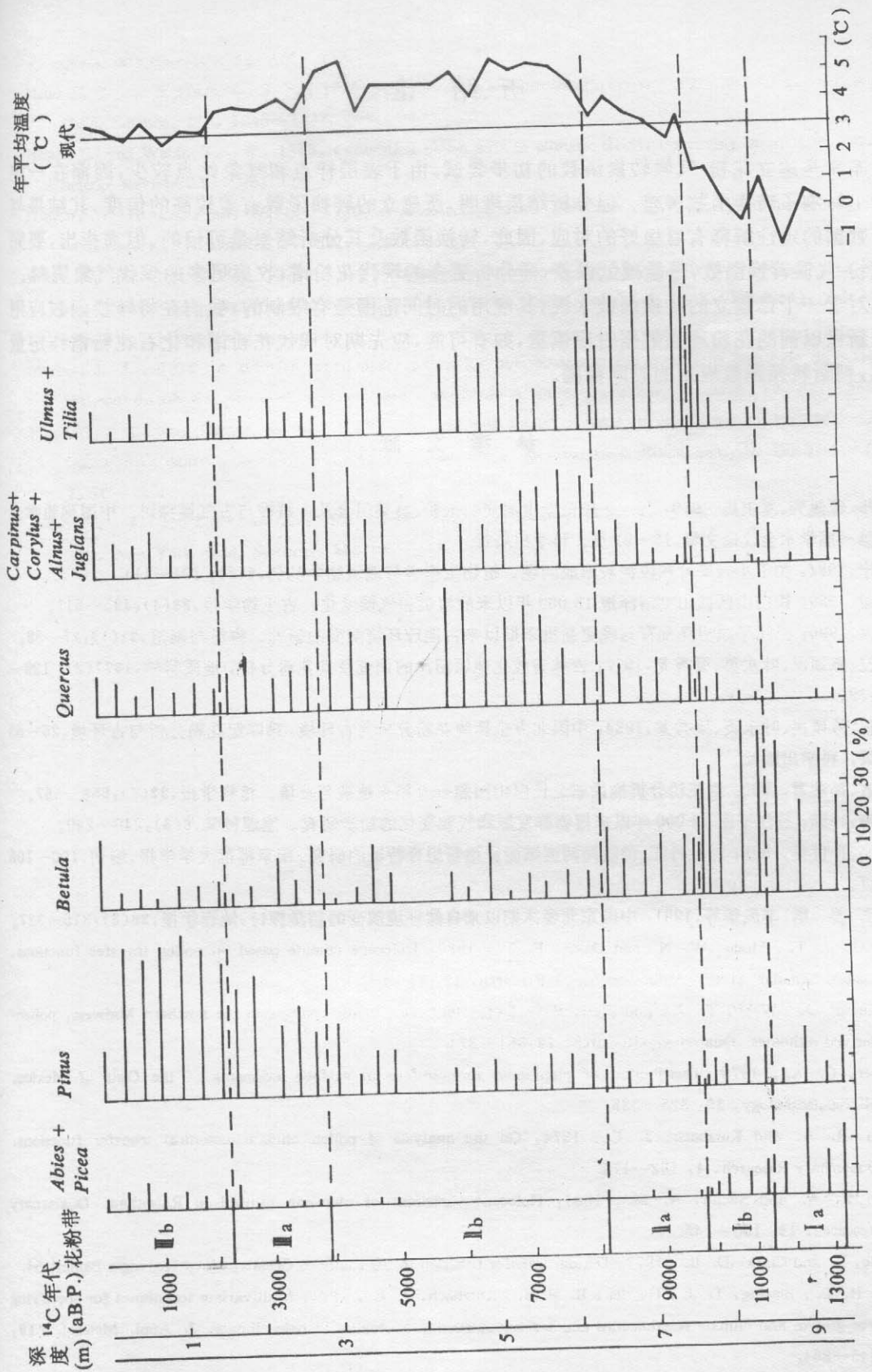


插图 1 孤山屯沼泽孔六个变量的百分比(据刘金陵, 1989)及重建的古气温

五、结 论

本文是建立花粉-气候转换函数的初步尝试,由于表层样点和气象站点较少,因而在一定程度上影响了转换函数误差。但分析结果表明,所建立的转换函数有着较高的信度,其结果与孢粉数据的定性解释有着极好的对应,因此,转换函数及其分析结果是可信的。但需指出,要完善花粉-气候转换函数,尽量减低误差,需分析更多的现代花粉谱,收集更多的现代气象资料。

对于一个已建立的转换函数来说,其应用的时间范围是有限制的,我们在将转换函数应用于全新世以前的花粉地层数据时应慎重,如有可能,应先期对现代花粉谱和化石花粉谱作定量对比,判断转换函数应用的时间范围。

参 考 文 献

- 王曼华、汪佩芳、夏玉梅,1979: 三江平原全新世泥炭的孢粉、藻类组合及古植被与古气候探讨。中国孢粉学会第一届学术会议论文集,13—21页。科学出版社。
- 伊怀宁,1984: 关于小兴安岭东段泥炭形成问题。植物生态学与地植物学丛刊,8(2): 101—111。
- 刘金陵,1989: 长白山区孤山屯沼泽地 13 000 年以来的植被和气候变化。古生物学报,28(4): 495—511。
- 杨永兴,1990: 三江平原沼泽发育与晚更新世末期以来古地理环境演变的研究。海洋与湖沼,21(1): 27—38。
- 周昆叔、陈硕民、叶永英、梁秀龙,1977: 吉林省敦化地区沼泽的调查及其花粉分析。地质科学,1977(2): 129—139。
- 周昆叔、陈硕民、叶永英、梁秀龙,1984: 中国北方全新统花粉分析与古环境。第四纪花粉分析与古环境,25—53页。科学出版社。
- 袁绍敏、孙湘君,1990: 据花粉分析推论东北长白山西麓一万年来植被与环境。植物学报,32(7): 558—567。
- 夏玉梅,1988: 三江平原 12 000 年以来植物群发展和气候变化的初步研究。地理科学,8(3): 240—249。
- 萧家仪、孙世英,1987: 对牡丹江、穆陵河两流域泥炭孢粉组合特征的研究。南京师范大学学报,增刊,100—108页。
- 裘善文、姜 鹏、李凤华等,1981: 中国东北晚冰期以来自然环境演变的初步探讨,地理学报,36(3): 315—327。
- Andrews, J. T., Mode, W. N. and Davis, P. T., 1980: Holocene climate based on pollen transfer functions, eastern Canadian Arctic. Arctic and Alpine Research, 12: 41—64.
- Bartlein, P. J., Webb, T. II, and Fleri, E., 1984: Holocene climatic changes in the northern Midwest: pollen-derived estimates. Quaternary Research, 22: 361—374.
- Brunner, C. A., 1979: Distribution of planktonic foraminifera in surface sediments of the Gulf of Mexico. Micropaleontology, 25: 325—335.
- Bryson, R. A. and Kutzbach, J. E., 1974: On the analysis of pollen-climate canonical transfer functions. Quaternary Research, 4: 162—174.
- Bryson, R. A. and Swain, A. M., 1981: Holocene variations of monsoon rainfall in Rajasthan. Quaternary Research, 16: 135—145.
- Burdele, L. and Clark, D. B., 1977: Diatom transfer function in the southern Oceans, Nova Hedwigia Beiheft 54.
- Fritts, H. C., Blasing, T. J., Hayden, B. P. and Kutzbach, J. E., 1971: Multivariate techniques for specifying tree-growth and climate relationships and for reconstructing anomalies in paleoclimate. J. Appl. Meteorol., 10: 845—864.
- Guiot, J., 1987: Late Quaternary climatic changes in France estimated from multivariate pollen time series.

- Quaternary Research, **28**: 100—118.
- Heusser, C. J. , and Streeter, S. S. , 1980: A temperature and precipitation record of the past 16000 years in southern Chile. *Science*, **210**: 1345—1347.
- Howe, S. and Webb. T. , III , 1983: Calibrating pollen data in climatic terms: improving the methods. *Quaternary Science Reviews*, 217—51.
- Huston, W. H. and Prell, W. L. , 1980: A paleoecological transfer function, FI-2, for Indian Ocean planktonic foraminifera. *J. Paleont.* , **54**: 381—399.
- Imbrie, J. and Kipp, N. G. , 1971: A new micropaleontological method for quantitative paleoclimatology: application to a late Pleistocene Caribbean core. In "The Late Cenozoic Glacial Ages" (ed. K. K. Turekian), Yale University Press, New Haven and London.
- Morley, J. J. , 1979: A transfer function for estimating paleoceanographic conditions based on deep-sea surface sediment distribution of radiolar assemblages in the South Atlantic. *Quaternary Research*, **12**: 381—395.
- Webb. T. , III. and Bryson, R. A. , 1972: Late- and post-glacial climatic change in the northern Midwest, USA: Quantitative estimates derived from fossil pollen spectra by multivariate statistical analysis. *Quaternary Research*, **2**: 70—115.
- Webb, T. , III. and Clark, D. R. , 1977: Calibrating micropaleontological data in climatic terms: a critical review. *Ann. New York Acad. Sciences*, **288**: 93—118.