

数量化理论在中国早奥陶世笔石 动物地理分布研究中的应用

刘春莲

(地质学系)

摘要 以中国早奥陶世22个地层分区以及至少出现于2个地层分区的57个笔石属作为定性变量,按照57个笔石属在22个地层分区中的出现情况,建立反应矩阵。根据数量化理论Ⅳ,定义各分区间的亲近度,从而使原始定性变量转化为定量数据,并由此获得22个分区相应于22个点在平面图中的位置。在平面图中,22个点可划分为2个点群,分别代表中国早奥陶世的两大笔石动物群,即华南型笔石动物群和华中型笔石动物群。

关键词 数量化理论,早奥陶世,笔石,动物地理分区

古生物地理学研究一般都以定性特征为基础,根据生物分子在各个地区的分布情况来划分生物地理区系。这种“分布情况”即是指某些生物分子在某个地区的有或没有(存在或不存在)。数量化理论则是将这些定性特征,按一定的原则向定量分析方面转化^[1],并以得到的定量数据为基础客观地进行生物地理分布特征的研究。在传统的研究古生物地理学的定性综合比较方法中,人为因素或多或少起了一定作用。尤其是对那些同时含有几种类型的边缘地区,要将它们确切地、合理地划归某个生物区往往比较困难,这些地区也往往容易成为争议地区。但通过数量化理论将定性特征转化成定量数据后,则可定量地判断各个地区之间的亲疏关系,从而作出客观的划分。本文采用数量化理论Ⅳ对中国早奥陶世笔石动物地理分布情况进行计算和分析。

1 计算方法

研究古生物地理时选择适当的生物分类级别甚为重要。一般来说,科或科以上的分类单位,由于其分布范围常常十分广泛,地方性的科较少,因此,如选用科或科以上单位作为研究古生物地理的依据,其结果是使大范围内生物地理的差异很小。而物种常只限于其适合的环境地区,用它作为分区依据会引起高程度的地理分异,使大多数动物群存在的类似性信息失去。因此,许多学者在应用数理统计方法研究古生物地理时都采用化石属。尤其是在笔石研究中,属的特征显著易辨,鉴定比较明确,属的数量也较稳定。虽然以往对笔石动物地理作定性研究时属种都曾作为依据,但在早奥陶世却是以属为主。所以,本文应用数量化理论Ⅳ也是以早奥陶世笔石属作为定性变量。收集在我国已报导的早奥陶世的笔石属,以地层分区作为基本地理单位,至少在2个地层分区出现

本文1992年1月5日收到

的笔石属才参加计算,这样的属计有57个。我国早奥陶世地层中含笔石化石的有26个分区,其中4个分区仅含个别分子,参加计算意义不大,故选择其余的22个地层分区。首先按照57个笔石属在各地层分区的反应情况,如果某属在某区内出现则称之为有反应,用“1”表示,反之则为没反应,用“0”表示,从而获得反应矩阵(见表1)^[2~36]。然后定义各区之间的亲近度,亲近度愈大,区域间关系愈密切;亲近度愈小,则认为关系愈疏远。根据反应矩阵特点,我们采用林知已夫所提出的一致度方法来计算亲近度^[37],即分区*i*与*j*之间的一致度定义为

$$e_{ij} = \frac{f(i,j) - [f(i) \cdot f(j)]/m}{\sqrt{m \cdot [f(i) \cdot f(j)]/m^2 (1 - [f(i) \cdot f(j)]/m^2)}}$$

表1 57个笔石属在22个地层分区的反应

Tab.1 The response of 57 graptolite genera in 22 stratigraphical divisions

属名	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
1 <i>Acanthograptus</i>				1	1						1	1	1									1
2 <i>Adelograptus</i>	1				1							1			1	1	1	1	1			
3 <i>Airograptus</i>				1											1	1						
4 <i>Allograptus</i>																1				1		
5 <i>Amplexograptus</i>	1	1				1	1		1	1							1	1	1	1	1	1
6 <i>Anisograptus</i>				1											1	1	1	1	1			
7 <i>Aspidograptus</i>												1			1	1						
8 <i>Aulograptus</i>										1	1						1	1	1			
9 <i>Azygograptus</i>										1	1	1	1		1	1			1			
10 <i>Bryograptus</i>				1								1			1	1	1	1	1	1		
11 <i>Callograptus</i>				1	1						1	1	1		1	1					1	1
12 <i>Cardiograptus</i>	1						1	1							1	1	1	1	1	1		
13 <i>Climacograptus</i>		1	1		1	1		1								1	1	1	1	1		1
14 <i>Clonograptus</i>	1			1	1				1	1	1				1	1	1	1	1			
15 <i>Cryptograptus</i>				1		1	1	1		1					1	1	1	1	1	1		1
16 <i>Dendrograptus</i>				1	1	1		1		1	1		1	1	1	1		1		1		1
17 <i>Desmograptus</i>				1	1							1										1
18 <i>Dichograptus</i>	1	1		1							1				1	1	1	1				1
19 <i>Didymograptus</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1
20 <i>Exigraptus</i>											1	1						1				
21 <i>Etagraptus</i>	1	1					1	1							1	1	1	1				
22 <i>Glossograptus</i>	1	1	1			1	1	1							1	1	1	1	1			
23 <i>Glyptograptus</i>	1	1	1			1	1	1		1	1	1			1	1	1	1	1	1	1	1

属名	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
24 <i>Goniograptus</i>															1		1		1			
25 <i>Haplograptus</i>												1						1				
26 <i>Herrmannograptus</i>				1							1				1		1	1				
27 <i>Holmograptus</i>								1			1						1	1		1		
28 <i>Inocaulis</i>				1	1																	
29 <i>Isograptus</i>	1	1	1					1	1						1	1	1	1	1	1	1	1
30 <i>Janograptus</i>			1									1					1					
31 <i>Kiaerograptus</i>																	1		1			
32 <i>Loganograptus</i>		1		1				1								1	1		1			
33 <i>Nicholsonograptus</i>															1	1	1	1	1	1	1	
34 <i>Oncograptus</i>		1																		1		
35 <i>Orthograptus</i>					1													1	1	1		1
36 <i>Paracardiograptus</i>																1	1					
37 <i>Paraglossograptus</i>	1							1	1									1	1	1	1	
38 <i>Phyllograptus</i>		1				1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
39 <i>Pseudobryograptus</i>								1			1					1	1		1			
40 <i>Pseudoclimacograptus</i>	1	1			1			1			1						1	1	1			1
41 <i>Pterograptus</i>		1			1			1			1					1	1		1			
42 <i>Ptilograptus</i>								1			1				1							1
43 <i>Reticulograptus</i>				1						1					1							
44 <i>Rhabdinopora</i>			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			1
45 <i>Schizograptus</i>											1					1	1					
46 <i>Sinograptus</i>																		1			1	
47 <i>Skiagraptus</i>	1							1										1				
48 <i>Staurograptus</i>				1											1	1	1		1	1		
49 <i>Strophograptus</i>								1												1		
50 <i>Tetragraptus</i>	1	1			1			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
51 <i>Thallograptus</i>											1	1										
52 <i>Trigonograptus</i>	1	1						1	1		1	1				1	1	1	1	1		
53 <i>Triograptus</i>	1																	1		1	1	
54 <i>Tplograptus</i>								1										1		1	1	
55 <i>Wuninograptus</i>			1															1				
56 <i>Yushanograptus</i>																		1		1		
57 <i>Zigzagigraptus</i>											1											1
合计	14	14	11	16	10	12	12	23	6	7	25	19	7	2	25	19	47	25	36	22	11	11

“1”表示某属在某区有反应,空格代表“0”,表示某属在某区没反应。地层分区号1~22:1.天山分区;2.北山分区;3.柯坪分区;4.北部分区;5.南部分区;6.西部分区;7.北祈连山分区;8.欧龙布鲁克分区;9.南秦岭分区;10.米仓山—龙门山分区;11.川黔分区;12.鄂湘分区;13.江北沿岸分区;14.江南沿岸分区;15.三都—桃源分区;16.雪峰山分区;17.钱塘江—修水分区;18.桂北分区;19.湘赣分区;20.珠江分区;21.保山—临沧分区;22.昌都思茅分区

其中 $f(i, j) = \sum_{k=1}^m f_k(i, j)$ 表示区域 i 和 j 同时有反应的项目数; $f(i) = \sum_{k=1}^m f(i)_k$ 表示区

域 i 有反应的项目数; $i, j = 1, 2, \dots, 22; m = 57$.

一致度体现了两区域与独立性的差异, 因而可作为衡量亲近程度的度量. 显然一致度是对称的^[1], 即 $e_{ij} = e_{ji}$. 依据亲近度对各分区合理地给定二维空间中的一个位置, 用二维空间中的点表示区域, 从而全面表现各区之间的关系, 以便在此基础上按点间距离的远近, 实现对区域的分类^[1].

为了计算上的方便, 将亲近度作变换:

$$\bar{e}_{ij} = e_{ij} - (\max\{e_{ij}\} + 1)$$

$$i, j = 1, 2, \dots, 22$$

设区域 i 在二维空间中的点为 $(x_{i1}, x_{i2}) (i = 1, 2, \dots, 22)$, 为了使亲近度较大的两区域所对应的点之间的距离较近, 亲近度较小的区域所对应的点之间的距离较远,

这样的问题可归结为在 $\bar{x}_k = 1/22 \sum_{i=1}^{22} x_{ik} = 0 (k = 1, 2)$ 的条件下

$$G = - \sum_{i=1}^{22} \sum_{j=1}^{22} \bar{e}_{ij} [(x_{i1} - x_{j1})^2 / \sum_{i=1}^{22} x_{i1}^2 + (x_{i2} - x_{j2})^2 / \sum_{i=1}^{22} x_{i2}^2]$$

达到最大的问题. 记

$$x'_k = (x_{1k}, x_{2k}, \dots, x_{22k}), k = 1, 2$$

$$a_{ij} = \bar{e}_{ij} \quad i \neq j; \quad i, j = 1, 2, \dots, 22$$

$$a_{ii} = - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{22} a_{ij} \quad i = 1, 2, \dots, 22$$

$$A = (a_{ij})$$

于是 G 可表示为^[1]

$$G = (x'_1 A x_1) / x'_1 x_1 + (x'_2 A x_2) / x'_2 x_2$$

为了使各分量间有独立意义, 我们寻求在 x_1, x_2 相互正交即 $x'_1 x_2 = 0$ 的条件下, 使 G 达到最大. 不难证明, 这样的 x_1, x_2 就是判别矩阵 A 的最大特征根和次大特征根所对应的特征向量.

按照上述计算方法, 可以得到: $x'_1 = -0.1267, -0.1274, -0.1807, 0.7787, 0.2525, -0.0611, -0.099, -0.1387, 0.0094, 0.0219, 0.0214, 0.109, 0.0679, 0.174, 0.0741, -0.1164, -0.2169, -0.0933, -0.2067, -0.1996, 0.1408, -0.0829; x'_2 = -0.0052, -0.038, -0.0568, 0.3506, -0.1336, -0.0627, -0.0585, -0.0504, -0.0547, -0.1024, -0.1361, -0.1341, -0.0926, -0.1164, -0.004, -0.0086, 0.4103, -0.173, 0.0599, 0.0369, -0.1834, -0.047$. 由此可得到各分区在二维空间中的位置(见图1).

2 结果与讨论

由图1所示,按 x_1 的点形成2个点群,点号1、2、3、6、7、8、16、17、18、19、20、22为一群,点号4、5、9、10、11、12、13、14、15、21为另一群。结合各点所代表的实际意义,平面图上 x_1 值取正数的点群包括扬子区的5个分区,华北区的北部分区和南部分区、昆仑秦岭区的南秦岭分区、藏北滇西区的保山临沧分区及江南区的三都一桃源分区, x_1 值取负值的点群包括整个东南区、江南区的钱塘江一修水分区和雪峰山分区、华北区的西部分区、昆仑秦岭区的欧龙布鲁克分区、藏北滇西区的昌都思茅分区、塔里木区的柯坪分区及天山兴安区的天山分区和北山分区。可以说这2个点群从笔石动物群性质上分别代表了中国早奥陶世的两大类型,即华中型和华南型笔石动物群。因此,根据图1我们可作出中国早奥陶世的笔石动物地理分布图(图2)。在综合分析图1、图2及表1的基础上,我们从古生物地理学的角度,对中国早奥陶世两大笔石动物群的性质及分布特征进行讨论。

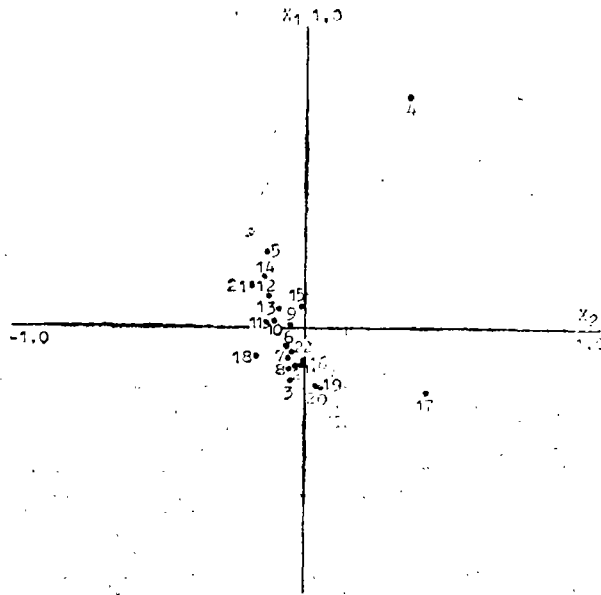


图1 22个地层分区在平面图中的位置

Fig.1 The position of 22 divisions in the plane figure

华南型笔石动物群的主要特点是早奥陶世新厂期以反称笔石类为主^[36],如*Staurograptus*, *Adelograptus*, *Anisograptus*及*Bryograptus*等。在华南区的边缘地区及西北区还发育树笔石类分子。宁国期以*Etagraptus*, *Isograptus*, *Goniograptus*, *Cardiograptus*, *Oncograptus*, *Glossograptus*, *Paraglossograptus*, *Climacograptus*以及*Sinograptus*, *Tylograptus*等为主要特征分子。从表1可看出其中的*Etagraptus*, *Cardiograptus*, *Isograptus*, *Glossograptus*, *Paraglossograptus*及*Climacograptus*在华南型的各区内分布广泛。

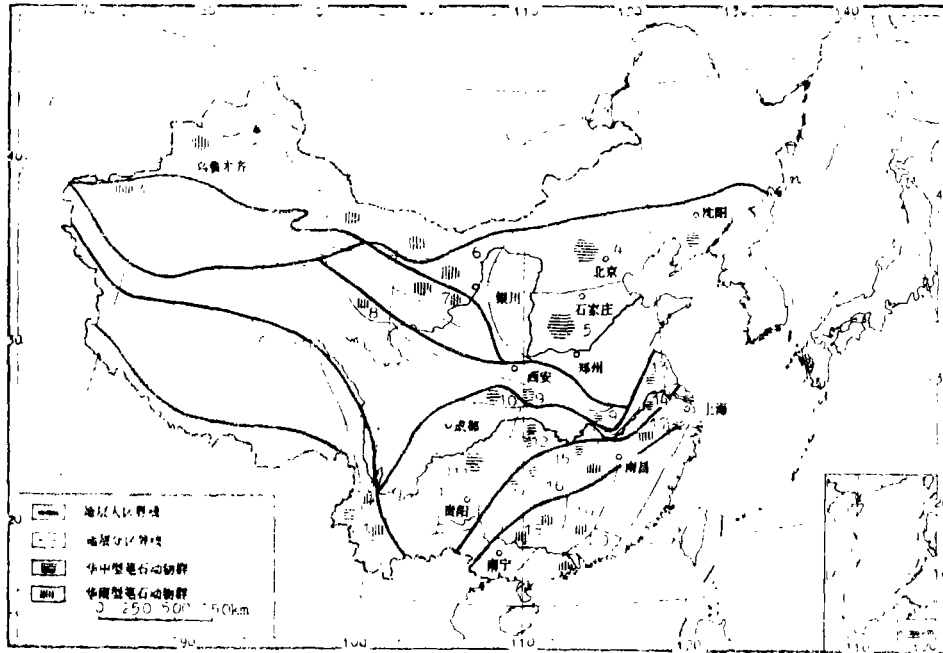


图2 中国早奥陶世笔石地理分布

Fig.2 Geographical distribution of Early Ordovician graptolites in China

华南型笔石动物群的上述主要特点在华南区的5个分区内表现最为典型,它们含有华南型的所有特征化石。但在南部的珠江分区、湘赣分区和桂北分区,早奥陶世早期全部为漂浮笔石,以反称笔石科分子的大量繁盛为主要特征,而无任何树笔石类分子存在。宁国期也仍具华南型的典型色彩,很少出现与华中型分子共生的现象。北部的钱塘江—修水分区和雪峰山分区早奥陶世新厂期反称笔石科与树笔石科分子共生,显示过渡区性质。其中钱塘江—修水分区是华南区也是中国早奥陶世笔石最丰富的地区,大部分笔石属在该区都有出现。不仅反称笔石类大量繁盛,而且树笔石科分子也异常丰富,数量及种类均很可观。宁国期除了具华南型特征分子外,仍有华中型分子与之共生。此外,还以特别发育中国笔石科分子为特点,而这些分子在其它地区较少出现。祁连山以南的欧龙布鲁克分区(点8)在图1上位于华南型点群的密集处,早奥陶世早期不发育反称笔石类,仅含树笔石类分子。而晚期含大量华南型的典型分子,如*Cardiograptus*, *Climacograptus*, *Etagraptus*, *Glossograptus*, *Isograptus*等。位于西北地区的天山分区、北山分区、柯坪分区和北祁连山区,同样属于华南型笔石动物群。新厂期笔石不丰富,仅在北祁连山区出现*Rhabdinopora*,在华南区大量繁盛的其它反称笔石类在这里也不发育。但宁国期笔石十分丰富,如*Cardiograptus*, *Glossograptus*, *Isograptus*, *Oncograptus*, *Etagraptus*, 反映出典型的华南型色彩。另外还发育许多与华中型共有的分子,如*Dichograptus*, *Didymograptus*, *Pterograptus*, *Amplexograptus*, *Phyllograptus*, *Glyptograptus*。华北区的西部分区位于华北区与西北区的过渡地带,它几乎不含典型的华中

型分子,而以含两大类型共有的笔石为主,它之所以在平面图上位于华南型点群中,在于它在宁国期还含有华南型的典型分子 *Glossograptus* 和 *Climacograptus*。所以,尽管它是位于华北区内,却与华北区的其它地区性质不完全相同,这可能与其地理位置有关。位于西藏与滇西交界处的昌都思茅分区笔石动物群面貌也与西北区极为相似,共有分子占主要地位,但又含有华南型分子,如 *Glossograptus* 和 *Isograptus*, 而不含任何华中型的特征分子。

总的来说,西北地区、华北的西部分区及滇西的昌都思茅分区在笔石动物群面貌上比较接近,早期均不发育反称笔石类,仅含少量的树笔石分子,晚期除了含大量两大类型共有的笔石外,华南型的特征分子也同时出现,而不含华中型分子。总的特征上与雪峰山分区和钱塘口—修水分区较为相似。

华中型笔石动物群新厂期以树笔石类和刺笔石类为特征,而反称笔石类分子却不发育,尤其是相当华南区“新一”、“新二”笔石带的层位无任何反称笔石科分子,相当“新三”带出现 *Adelograptus*, *Bryograptus*, *Clonograptus* 等,同时还出现 *Acanthograptus*, 该属是华中型笔石动物群最特征的分子。宁国期以 *Azygograptus* 为其主要代表,在各分区内分布比较广泛。与华南型共有的分子如 *Didymograptus*, *Glyptograptus*, *Phyllograptus*, *Tetragraptus* 等也非常发育。

扬子区笔石动物群是华中型的主体,几乎具有上述华中型的所有特征。其中又以鄂湘分区和川黔分区笔石最为丰富。其它分区笔石相对较少,但均发育有 *Rhabdinopora*, *Dendrograptus* 或 *Acanthograptus*。

华北区的南部分区和北部分区具有典型的华中型面貌,含特征分子 *Acanthograptus*, 其它树笔石类也比较发育。一般在新厂期晚期出现反称笔石类。但北部分区稍有特殊,它除了含华中型的典型分子外,新厂期早期就出现华南型的反称笔石类,使之与华中型其它地区有一定程度的差异,这种差异在平面图上表现为点号4位于距华中型点群稍远处。

南秦岭分区位于扬子区与华北区之间,早奥陶世笔石动物群具华中型色彩可以说与它的这种地理位置不无一定的关系。位于滇西的保山临沧分区其面貌与相邻的昌都思茅分区却大不相同,它含有华中型特征分子 *Acanthograptus*, 而且其它树笔石类也很发育。

值得注意的是三都一桃源分区(点15)在图1中的位置。按照传统的观点,它应是属于华南型,并具过渡型色彩^[35]。但在图1中它却是位于华中型点群中。这种归类结果与其笔石动物群性质是密切相关的。该分区的笔石动物群也非常丰富,早奥陶世早期与扬子区非常相似,相当“新一”、“新二”笔石带反称笔石类不甚发育,至“新三”带才出现 *Adelograptus*, *Anisograptus*, *Bryograptus* 及 *Clonograptus* 等,而始终以树笔石类分子的大量繁盛为主要特征。因此,新厂期华南型色彩较弱。宁国期虽然出现一些华南型分子,但其它绝大多数是华中型分子或共有分子。总的来说,这一地区具有过渡型性质,但又偏重于华中型色彩。因此,图1中的这种归类是较为合理的。

3 小 结

用数量化理论Ⅳ计算的结果在主要方面与传统的笔石动物地理区划分基本上是一致的,但在个别问题上也存在不同之处,如三都-桃源分区在这里归为华中型而不是原来的华南型;保山-临沧分区和昌都思茅分属分别属于华中型和华南型,而不是原来的均属于华中型。从分析结果来看,这种归类是较为合理的。从计算原理和获得的结果来说,数量化理论是适合于古生物地理学研究的,但前提条件是原始数据的准确性能够保证。本文仅仅是作一初步探索,对这一方法的进一步研究和完善是有必要的。

参 考 文 献

- 1 董文泉等. 数量化理论及其应用. 长春: 吉林人民出版社, 1979
- 2 尹赞勋. 中国地质学会志, 1936, 1937(16): 281~302
- 3 王 钢. 古生物学报, 1981, 20(4): 349~352
- 4 许 杰. 古生物学报, 1959, 7(3)
- 5 许 杰, 赵裕亭. 地质学报, 1976, 50(2)
- 6 许 杰, 黄枝高. 地质学报, 1979, 53(1)
- 7 朱敏达. 古生物学报, 1965, 13(1)
- 8 地质矿产部南京地质矿产研究所. 华东地区古生物图册. 北京: 地质出版社, 1983
- 9 安徽省地质局区域地质队. 安徽笔石化石. 合肥: 安徽科技出版社, 1982
- 10 李积金. 古生物学报, 1961, 9(1): 48~79
- 11 李积金, 陈 旭. 古生物学报, 1962, 10(1): 12~35
- 12 陈 旭, 韩乃仁. 地质论评, 1964, 22(2): 81~90
- 13 陈 旭等. 古生物学报, 1964, 12(2): 236~240
- 14 陈 旭等. 地层学杂志, 1981, 5(1): 36~45
- 15 陈 旭. 古生物学报, 1982, 21(5): 513~524
- 16 陈 旭等. 古生物学报, 1983, 22(3): 324~330
- 17 肖承协等. 地质学报, 1975(2)
- 18 汪啸风等. 古生物学报, 1979, 18(5): 504~510
- 19 林尧坤, 陈旭. 川西藏东地区地层与古生物. 成都: 四川人民出版社, 1982
- 20 赵祥麟. 古生物学报, 1983, 22(4): 369~387
- 21 Lin Yaokun. Aspects of Cambrian-ordovician Boundary in Dayangcha, China. Beijing: Prospect Publishing House, 1986
- 22 金玉琴, 汪啸风. 地层古生物论文集, 1977(3)
- 23 俞剑华. 南京大学学报, 1962(2)
- 24 俞剑华等. 南京大学学报, 1982, (2): 478~488
- 25 姚伦琪. 古生物学报, 1965, 13(1): 94~104
- 26 葛梅钰. 地质学报, 1962, 42(3): 307~315
- 27 焦世鼎. 古生物学报, 1981, 20(1): 65~70

- 28 赖才根等. 中国的奥陶系, 中国地层(5). 地质出版社, 1982
- 29 穆恩之. 中国古生物志, 新乙种. 1955, 5
- 30 穆恩之. 古生物学报, 1957, 5(3): 406~445
- 31 穆恩之. 中国地质学基本资料专题总结论文集. 地质出版社, 1959
- 32 穆恩之等. 古生物学报, 1960, 8(1): 35~47
- 33 穆恩之等. 祁连山地质志. 北京: 科学出版社, 1962, 4(2)
- 34 穆恩之等. 中国古生物志, 新乙种. 1979(13)
- 35 穆恩之等. 国际交流地质学术论文集. 北京: 地质出版社, 1980(4): 35~42
- 36 魏秀喆、肖承协等. 地质学杂志, 1966, 5(1): 36~45
- 37 林 知己夫. 统计数理研究学报, 1962, 9(1)

The Application of Quantification Theory to the Research on Geographical Distribution of Early Ordovician Graptolites in China

*Liu Chunlian**

Abstract 22 stratigraphic divisions of early ordovician in China and 57 graptolite genera, which existed at least in two divisions, are served as the qualitative variables. According to the response condition of the 57 graptolite genera in these 22 divisions, a response matrix is established. Based on the quantification theory IV, a definition of the degree of affinity is given and then the primary qualitative variables are transformed into quantitative data. In this way we can locate the 22 divisions in a plane-figure. These 22 points are divided into two groups, which, represent respectively, two graptolite types in the early ordovician, namely, the South China type and the Central China type.

Keywords quantification theory, early ordovician, Graptolite, palaeobiogeography

* Department of Geology