台湾中部和北部山地植被垂直带表土花粉和植被重建

于 革① 刘平妹② 薛 滨① 李政益②

(①中国科学院南京地理与湖泊研究所, 南京 210008; ②台湾大学地质学系, 台北 106-17. E-mail: geyu@niglas.ac.cn)

摘要 调查分析了台湾中部沙里仙山和北部乐培山各类山地植被下的表土花粉, 并采用生物群区化方法进行植被转化. 各个表土花粉样点上的植被类型根据各类花粉出现的相对数量、植物功能型的分配和植被组合三者关系进行矩阵运算和模糊归类选择. 结果表明, 表土花粉模拟的植被能够较好地反映海拔 500 m 以上山地热带、亚热带的栲-青冈林、山地暖温带栎林、松-栎林、山地温带和寒温带铁杉-云杉林及云杉-冷杉林等植被, 其地理位置与实际植被的海拔高度分布基本一致. 该研究能够为我国大范围表土花粉调查和垂直植被型变化提供花粉资料, 为低纬植物功能型和植被型组合提供一个设计方案, 并进一步为利用地层花粉重建第四纪植被的现代类比应用.

关键词 表土花粉 垂直植被 台湾山地

晚第四纪北半球植被带曾发生了系统的变化, 尽管低纬地区气候和植被的水平地带迁移没有像中、高纬度显著, 热带山地植被和气候环境变化仍然是地球脉动强烈信号[1,2]. 近年来用花粉模拟我国水平植被迁移的研究, 已经揭示了中、高纬度发生了许多重大植被变化[3,4], 然而尚未有过对垂直植被的尝试, 因而我国低纬的植被变化目前仍然证据不足. 台湾位于我国低纬热带、亚热带区, 由于受到冬、夏季风影响, 尤其岛内高山罗列, 垂直气候和植被从基带热带到高山寒带, 具有较完整的三度立体空间的气候区划类型[4]. 台湾岛低纬植被多样性和山地垂直植被的完整性, 是研究低纬花粉与气候植被关系的一个理想地区. 低纬地区的气候植被变化主要反映在垂直植被带变化, 对这方面的研究将能够为山地古植被模拟提供现代相似型和科学依据.

1 现代气候与植被

台湾面积为 3.6×10^4 km^2, 位于 25 ~ 21°N 之间, 虽然纬度跨度不到 4°, 但山地海拔高差超过 4000 m, 垂直气候类型复杂多样. 根据台湾 200 多个气象台站资料分析[5], 温度与海拔高度相关关系显著, 而且温度在气候指标中占首要地位. 台湾中部山地随着海拔高度的增加, 分布着山地热带、亚热带、温带以及高山寒带等不同类型植被. 不同海拔的植被受控于不同的年平均温度[6], 从低海拔到高海拔分别有榕-楠林(*Ficus-Machilus*)、楠-栲林(*Machilus-Castanopsis*)、青冈-昆栏树林(*Cyclobalanopsis-Troch-dendron*)、栎林(*Quercus*)、赤扬林(*Alnus*)、扁柏林(*Chamecyparis*)、松林(*Pinus*), 松-栎林、铁杉-云杉林(*Tsuga-Picea*)、冷杉林(*Abies*)、香柏-杜鹃灌丛(*Juniperus-Rhododendron*)、箭竹林和芒草草灌丛. 台湾山地植被带的海拔和温度范围以及建群植物和主要植物的分带综合见表 1.

2 资料和方法

表土花粉样采自于台湾中部沙里仙山和北部乐培山不同山地植被类型中. 沙里仙山位于 23°28′~23°33′N, 120°53′~120°59′E, 南起玉山(3952 m), 东经北峰(3850 m), 西越西山(3528 m)和前山(3236 m), 向北经大竹山(2853 m)至兰溪与沙里仙溪会合处. 全区海拔最低处向北侧开口(500 m), 最高点在南端玉山主峰, 区域落差 2752 m. 26 个样品直接采自森林或灌丛草地表土, 样点海拔高度在 750 ~ 3400 m 之间. 各种植被具有不同高度分布, 榕-楠林分布在 500 m 以下, 楠-栲林分布在 500 ~ 1500 m 高度, 青冈-栎林分布在 1500 ~ 2500 m. 2500 m 以上有铁杉-云杉林生长, 3100 m 有冷杉林生长. 3600 m 以上有香柏林、香柏-杜鹃灌丛以及高山植被分布. 乐培山位于 24°05′N, 121°02′E, 乐培山主峰 1582 m, 谷地海拔在 350 ~ 700 m, 区域落差 1200 m. 乐培山 1200 m 以上生长落叶阔叶栎林, 以下为楠-栲常绿林. 1100 m 以下有人造柳杉林. 36 个样品直接采自森林或灌丛草地表土, 分别收集了不同山地植被下的花粉样品. 两组花粉采样点的地理位置和海拔高度见图 1.

本文采用了生物群区化 (Biomisation) 方法[7]进行植被的定量转化. 该方法从欧洲植被模拟发展, 在我国进行了植被带的模拟和现代植被验证[3,4]. 对海

表 1 台湾山地气候植被带

海拔高度/m	年均温/℃	植被带	建群植物	主要植物	气候带
>3600	<5	高山植被	箭竹林, 芒草草灌丛 香柏-杜鹃灌丛(*Juniperus, Rhododendron*), 松林(*Pinus*)	*Yushania niitakayamensis, Miscanthus* *J. Squamata, Rh.pseudochrysanthemum, P.taiwanensis, P.morrisonicols*	亚寒带
3100 ~ 3600	5 ~ 8	冷杉林带	冷杉林(*Abies*)	*A.kawskamii*	寒温带
2500 ~ 3100	8 ~ 11	铁杉-云杉林带	铁杉-云杉林(*Tsuga, Picea)*	*Tsuga chinensis, Picea morrisonicola, Pinus armandii mastersiana*	冷温带
2000 ~ 2500	11 ~ 14	栎林(落叶)带, 上层	栎林(*Quercus*), 赤扬林(*Alnus*), 扁柏林(*Chamecyparis*), 松林(*Pinus*),松栎林	*Ch. formosanansis, Ch. taiwania, Cunninghamia, Taxua, Tsuga, Picea; Pseudotsuga wilsoniana, Calocadrus formosana; Quercus spinoaa miyabei, Q. variabilis, Alnus formosana; Acer, Juglans, Ulmus, Carpinus, Platycarya*	温带
1500 ~ 2000	14 ~ 17	栎林(常绿)带, 下层	青冈-昆栏树林(*Cyclobalanopsis, Trochdendron*)	*Cyc. Morii, Cyc.stenophylloides,Cas. cariesii, Cyc.longinux, Cyc.gilva, Litsea, Lithocarpus; Pistacia, Rhus, Trema, Sapindus, Aphananthe, Koelreuteria, Hacranga, Zelkova, Fraxinus, Albizia,Liquidambar,Glochidion,Celtis, Sapium*	暖温带
500 ~ 1500	17 ~ 23	楠栲林带	楠-栲林(*Machilus, Castanopsis*)	*M.japonica, M.kusanoi, Ficus, Turpihia, Lagerstroemia, C. hystrix, C.kawakamii, Schima, superba, Engeihardtia, Lithocarpus,* tree fern	亚热带
<500	>23	榕楠林带	榕-楠林(*Ficus, Machilus*)	*Ficus,Machilus,Laportea,Bischfia, Acacia confusa, Leucaena, Jeucocephala, Vitex negundo, Clerodendron, Dodonaes*	热带

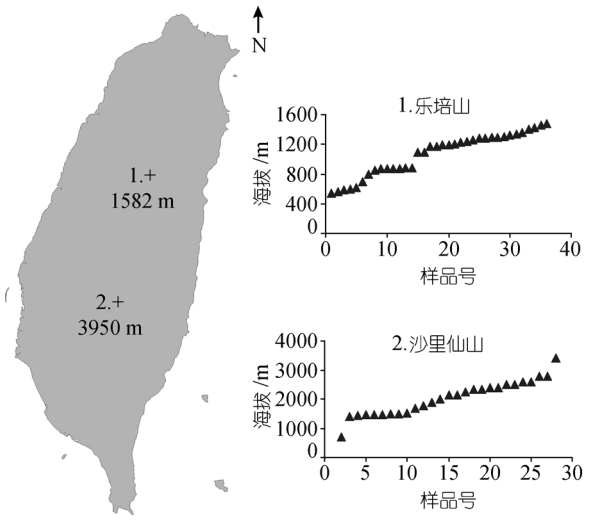

图 1 台湾花粉采样点地理位置和样品海拔高度
1. 乐培山 36 个样品, 2. 沙里仙 26 个样品

南岛表土花粉的植被模拟, 证明了该方法也适用于热带植被下次一级植被类型的模拟[8]. 该方法对出现在花粉中的植物, 设计植物功能型 (Plant Functional Types), 主要依据了植物生态特征的植物生长形态(乔木/灌木)、植物的叶形态 (阔叶/针叶)、物候(常绿/落叶) 以及对气候的适应性 (暖性/寒性、旱生/湿生)等方面特征. 本文设计了台湾山地植被下的植物功能型有常绿阔叶类、落叶阔叶类、常绿针叶类、草灌丛类和蕨类等. 植物与地理气候密切相关, 气候指标是花粉转化植被的又一个关键设计. 由于温度是台湾山地植被最主要的控制因素, 我们根据台湾山地温度气候指标范围(表 1), 常绿阔叶类又分别设计热带常绿、亚热带常绿、暖温带常绿和寒温带常绿. 落叶阔叶类分别设计了寒温带夏绿、温带夏绿、暖温带夏绿等. 针叶类中分别有暖温带针叶、温带针叶、寒温带针叶、北方针叶和广生针叶. 在草灌木植被中, 设计有热带亚热带、温带、极地高山、草原、荒漠等不同类型(表 2). 在此基础上, 根据已知的植物地理和气候特征, 把不同植物功能型组合成植被型. 尽管全球有多种植被型的分类系统, 在全球生物群区化研究中拟订了统一植被型, 排除了隐域性植被(例如沼泽, 红树林)或人工植被(农田、经济林等), 共有 14 种地带性植被[7]. 采用这种方法对中国植被型划分时, 由于我国没有萨王纳型和地中海型植被, 因地制宜设计了 12 种植被[3]. 本文根据台湾山地出现的 10 种基本山地植被设计了相应的 10 种组合(表 3).

生物群区化的基本步骤是: (1) 根据花粉类型, 设计不同的植物功能型, 以便产生一个(花粉类型 × 植物功能型) 矩阵. (2) 根据植物功能型, 组合不同的植被型, 以便产生一个(植物功能型 × 植被型)矩阵. (3) 由(花粉类型 × 植物功能型) 和 (植物功能型 × 植被型) 两个矩阵转换为一个 (花粉类型 × 植被型) 矩阵. (4) 根据每个花粉点的花粉百分比, 运行 (花粉类型 × 植被型) 矩阵, 计算出所有植被型的可能计分.

表 2 台湾山地植物功能型及其花粉类型

植物生态类型	植物功能型(PFT)	花粉类型	PFT 代号
常绿阔叶类	tropical evergreen	*Cassia, Ficus, Helicia, Homalanthus,* Leguminosae, *Medinilla,* Palmae, Piperaceae, *Randia, Trema*	te
	subtropical evergreen	*Kleinhovia,* Leguminosae, *Medinilla, Syzygium, Terminalia*	tr
	southern warm-temperate evergreen	*Castanopsis, Lithocarpus*	wte2
	warm-temperate evergreen	*Capparis,* Acanthaceae, *Actinidia,* Anacardiaceae, *Aralia,* Araliaceae, *Bischofia,Bredia,Cyclobalanopsis,Elaeocarpus,Engelhardtia, Glochidion, Koelreuteria, Macaranga, Maesa, Mallotus,* Meliaceae, Moraceae, Oleaceae, *Pasania,* Rhamnaceae, Rubiaceae, Rutaceae, *Saurauja, Schefflera, Sycopsis,* Symplocaceae, *Symplocos, Zanthoxyllum, Trochodendron*	wte
	cool-temperate evergreen	*Ilex, Ligustrum*	wte1
落叶阔叶类	cool temperate summergreen	*Alnus, Carpinus, Ulmus*	ts1
	intermediate temperate summergreen	*Carya, Celtis, Diospyros, Elaeagnus, Fagus, Juglans, Liquidambar, Myrica, Pterocarya, Quercus*_(deciduous), Urticaceae	ts2
	southern warm temperate summergreen	*Rhus, Sapium, Taxillus, Zelkova*	ts3
	temperate summergreen	*Acanthopanax, Acer, Clematis, Fraxinus, Osmanthus*	ts
常绿针叶类	eurythermic conifer	*Pinus*_(diploxylon), *Juniperus*	ec
	warm-temperate conifer	*Chamaecyparis, Cryptomeria, Keteleeria, Podocarpus*	wtc
	temperate conifers	Taxodiaceae	tc
	cool temperate conifer	*Picea, Tsuga*	ctc
	boreal evergreen conifer	*Abies*	bec
草、灌丛类	tropical and subtropical evergreen forbs/shrub	*Arabis, Araceae, Davallia, Evolvalus,* Gesneriaceae, *Gymnosporium, Hedryotis, Hiptage, Impatiens, Litosanthes, Microlepia, Strobilanthes,*	tef
	temperate forb/shrub	*Euphorbia, Aconitum, Actinostema, Chenopodium,* Convolvulaceae, *Crawfurdia,* Cucurbitaceae, *Cuscuta, Galium, Humulus,* Labiatae, *Paraphlomis,* Ranunculaceae, *Rhododendron,* Scrophulariaceae, Solanaceae, Umbelliferae, *Valeriana*	tf
	arctic-alpine forb/shrub	Ericaceae, Compositae, Cruciferae, *Polygonum, Rhododendron, Thalictrum, Salix*	af
	desert forb/shrub	*Tamarix*	df
	steppe forb/shrub	*Artemisia, Justicia*	sf
蕨类	tree ferns	Cyatheaceae	tx
	undifferentiated ferns	*Dryopteris, Lepisorus, Lycopodium,* Polypodiaceae, *Pteris, Selaginella*	x
其他	grass	Gramineae	g
	sedge	Cyperaceae	s

表 3 台湾山地植被带以及植物功能型组合
(PFT 代号同表 2)

植被带	植物功能型组合
热带常绿林	te + tx + tef
亚热带常绿林	tr + tx + wte + ts3 + tef
暖温带常绿落叶混交林	wte1 + wte2 + ts3 + tef + tf
温带针阔叶混交林	wte1 + wtc + tc + ec+ ts3 + ts2 + ts1 + ts + tf
冷温带针叶林	ctc + ec + h + g
寒温带针叶林	bec + ec + h + g
高山针叶林	ec + af + g
高山灌丛草地	tf + sf + af + ax + g
高山苔原	af + s + g
高山荒漠	af + df + g

(5) 根据模糊逻辑法，比较该花粉点上的所有植被型计分，以其中最大的计分确定它的植被型. 这样，对每个花粉点进行上述程序的计算机运行，可得到各点的植被型最佳输出.

3 结果与讨论

植被模拟结果见图 2，表明了从低海拔到高海拔分别出现了热带亚热带常绿林、暖温带常绿林、落叶林及常绿落叶混交林、温带和寒温带针叶林. 以栲为主的亚热带常绿阔叶林出现在台湾山地下部的花粉点上，在中部沙里仙山分布在海拔 700 ~ 1530 m，在北部乐培山分布在海拔 540 ~ 1100 m. 这个模拟结果与沙里仙山植被 [1] 和乐培山植被 [2] 的分布高度基本一致. 以青冈为主的暖温带常绿阔叶林在沙里仙山分布于海拔 1780~2150 m，在乐培山分布于 700~1500 m. 在沙里仙山地，以栎为主山地温带落叶阔叶林分布在海拔 2250 ~ 2500 m，以铁杉-云杉为主的山地冷温带针叶林分布于海拔 2600 ~ 2800 m，以冷杉为主的

1) 钟年钧. 台湾中部沙里仙区生态与保育特性之研究. 台湾大学森林学系研究所博士学位论文, 1994. 3 ~ 15
2) 徐月美. 台湾北部乐培山区暖温带雨林之植群结构与组成. 台湾大学植物研究所硕士学位论文, 1991. 2 ~ 8

寒温带针叶林分布在海拔 3400 m. 这些模拟与沙里仙山植被的海拔高度基本一致(图 2).

台湾表土花粉样品显示了花粉类型复杂, 优势种不明显. 这反映了热带植被下的植物种类繁多复杂的特性, 与海南岛表土花粉特征相似[7]. 在榕-楠林和楠-栲林林下的样品中没有出现樟科花粉(*Machilus*). 文献中甚至记载了采用空气花粉采集, 也难以发现樟科花粉的踪影[9]. 该植物与花粉的不吻合主要由于樟科花粉壁极为薄弱、花粉难以保存所致, 因而这里热带亚热带的榕-楠林和楠-栲林的主要花粉以榕(*Ficus*)和栲(*Castanopsis*)为代表.

常绿栎林中栲(*Castanopsis*)和青冈(*Cyclobalanopsis*)都是亚热带/暖温带常绿阔叶树种, 在植被功能型中通常作为 wte (warm-temperate evergreen)[3,9]. 在台湾山地植被带中, 这两种植物分别是亚热带常绿楠-栲林和暖温带常绿青冈-昆栏林的建群种, 所代表的海拔高度在 500 ~ 1500 和 1500 ~ 2000 m, 年均温度分别为 17 ~ 23 和 14 ~ 17℃. 因此我们在植物功能型 wte 的基础上, 增加了 wte2(southern warm-temperate evergreen), 把 *Castanopsis* 作为 wte2, 以能够区别于 wte 中的 *Cyclobalanopsis*, 分别模拟出

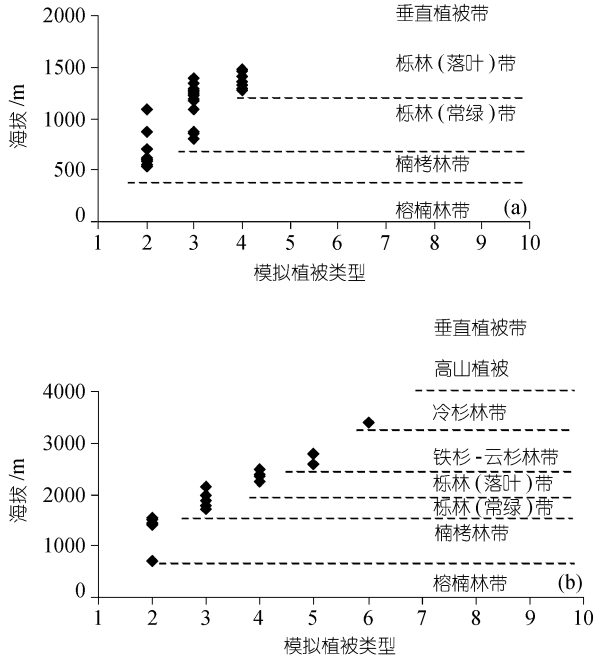

图 2 台湾山地现代划分转化的植被类型

(a) 乐培山; (b) 沙里仙山. 图中虚线是实际植被下限的高度, 以进行模拟植被对比. 1. 热带常绿林, 2. 亚热带常绿林, 3. 暖温带常绿落叶混交林, 4. 温带针阔叶混交林, 5. 冷温带针叶林, 6. 寒温带针叶林, 7. 高山针叶林, 8. 高山灌丛草地, 9. 高山苔原, 10. 高山荒漠

以栲为主的亚热带常绿阔叶林和以青冈为主的暖温带常绿阔叶林这两种不同的山地植被. 模拟结果也表明这样的设计符合植被分布.

由于 500 m 以下的天然植被受到人为活动影响, 花粉样品没有出现低海拔的热带常绿林植被类型. 与台湾山地垂直植被分布对比, 表土花粉能够较好地模拟海拔 500 m 以上的山地热带亚热带栲-青冈林、山地暖温带栎林、松-栎林、山地温带和寒温带铁杉-云杉林及云杉-冷杉林植被, 其地理位置与植被的海拔高度分布基本一致. 该研究能够为我国大范围表土花粉调查和垂直植被类型变化研究填补台湾地区花粉资料, 为热带和亚热带山地提供植物功能型和植被型组合方案, 以及采用这些现代类比应用在化石花粉中以重建古植被环境.

致谢 本工作受中国科学院南京地理与湖泊研究所领域前沿项目(CXNIGLAS-A02-06)和台湾大学地质系资助.

参 考 文 献

1 Liew P M, Kuo C M, Huang S Y, et al. Vegetation change and terrestrial carbon storage in eastern Asia during the Last Glacial Maximum as indicated by a new pollen record from central Taiwan. Global and Planetary Change, 1998, 16-17: 85 ~ 95

2 Farrera I, Harrison S P, Prentice I C, et al. Tropical climates at the last glacial maximum: A new synthesis of terrestrial palaeoclimate data. Ⅰ. Vegetation, lake-levels and geochemistry. Climate Dynamics, 1999, 15: 823 ~ 856

3 Yu G, Chen X D, Ni J, et al. Palaeovegetation of China: A pollen data-based synthesis for the mid-Holocene and last glacial maximum. Journal of Biogeography, 2000, 27: 635 ~ 664

4 中国第四纪孢粉数据库小组. 中国中全新世(6 kaBP)和末次盛冰期(18 kaBP)生物群区的重建. 植物学报, 2000, 42(11): 1201 ~ 1209

5 Su H J. Studies on the climate and vegetation types of the natural forest in Taiwan (Ⅰ): Analysis of the variation in climate factors. Quarterly Journal of Chinese Forest, 1984, 17(3): 1 ~ 14

6 Su H J. Studies on the climate and vegetation types of the natural forest in Taiwan (Ⅱ): Altitudinal variation zones in relation to temperature gradient. Quarterly Journal of Chinese Forest, 1984, 17(4): 57 ~ 73

7 Prentice I C, Guiot J, Huntley B, et al. Reconstructing biomes from palaeoecological data: A general method and its application to European pollendata at 0 and 6 ka. Climate Dynamics, 1996, 12 (12): 185 ~ 194

8 于革, 韩辉友. 海南岛表土花粉和热带植被模拟研究. 海洋地质与第四纪地质, 1998, 18(3): 103 ~ 111

9 Yu G, Prentice C I, Harrison P S, et al. Pollen-based biome reconstructions for China at 0 ka and 6 ka. Journal of Biogeography, 1998, 25: 1055 ~ 1069

(2002-05-31 收稿, 2002-09-06 收修改稿)