

DOI: 10.11913/PSJ.2095-0837.2018.60893

朱华. 中国热带生物地理北界的建议[J]. 植物科学学报, 2018, 36(6): 893-898

Zhu H. Suggestions for the northern boundary of the tropical zone in China[J]. *Plant Science Journal*, 2018, 36(6): 893-898

中国热带生物地理北界的建议

朱 华

(中国科学院西双版纳热带植物园, 云南勐腊 666303)

摘 要: 以前多个关于中国热带北界的建议由于依据的指标和学科不同, 存在很大的差异。我们基于 202 个中国地理区的植物区系和气象资料, 对中国种子植物属的地理成分分布格局及其与气候、经纬度分布的关系进行研究, 同时依据覆盖中国北纬 30°以南地区的 135 个地方植物区系资料, 对种子植物属的地理成分分布格局进行了研究。结果显示, 在中国植物区系中, 依据种子植物区系科和属的地理成分(即分布区类型), 发现热带分布属中 80%以上的区域基本上在中国南部和东南部北纬 22°30'以南。在这条界线以南地区, 位于基带(低海拔或水平地带性区域)的原始植被为热带森林(热带雨林、季雨林), 并且具有在中国分布的典型热带植物科, 但在中国西南部, 热带森林沿云南西部可达到北纬 24°30', 在西藏南部的深切河谷可达到北纬 29°。这条界线与中国的热带雨林、季雨林区划的北界相符合, 亦与植物区系分区上的泛北极植物区系与古热带植物区系的地理分界线相吻合。结合中国植被和植物区系区划, 我们建议将北纬 22°30'作为中国南部和东南部的生物地理热带北界。这条热带北界比气候上的热带北界(21°30'N, 年积温 8000℃以上)更北, 这暗示中国热带地区在历史上可能曾达到更北的范围, 支持在古生态学研究上提出的全新世中期中国东部地区热带和亚热带常绿阔叶林曾北移的结论。

关键词: 热带北界; 植物区系; 植被; 生物地理; 中国

中图分类号: Q948.2

文献标识码: A

文章编号: 2095-0837(2018)06-0893-06

Suggestions for the northern boundary of the tropical zone in China

Zhu Hua

(Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Mengla, Yunnan 666303, China)

Abstract: The tropical region of China is generally recognized as the area on the northern edge of tropical Asia. Suggested demarcation lines for the northern boundary of the tropical zone in China are largely based on climatic and agroclimatic parameters or macro-level vegetation boundaries, and thus vary considerably. To clarify this controversial issue, a total of 202 regional floristic data that covered all of China were used to establish distribution-type frequency maps at the generic level, and the correlations between the floristic elements and climatic gradients were analysed. Furthermore, a total of 135 regional flora from southern China were used to reassess the extent and boundaries of the tropical zone. Results showed that the areas with tropical genera from the geographical elements of Chinese seed plants that accounted for more than 80% of total genera from regional flora were located south of 22°30'N in southern and southeastern China, which corresponds closely to the northern boundary of the tropical monsoon forest and rainforest in southeastern China; furthermore, south of the line, tropical rainforest occurred on lowlands and typical tropical families also existed. The line at 22°30' N is, therefore, suggested as the northern biogeographical boundary of the tropical zone in south and southeastern China. However, the northern boundary of the tropical area reached

收稿日期: 2018-09-02, 退修日期: 2018-10-13。

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(41471051, 31170195, 41071040)。

This work was supported by grants from the National Natural Science Foundation of China(41471051, 31170195, 41071040)。

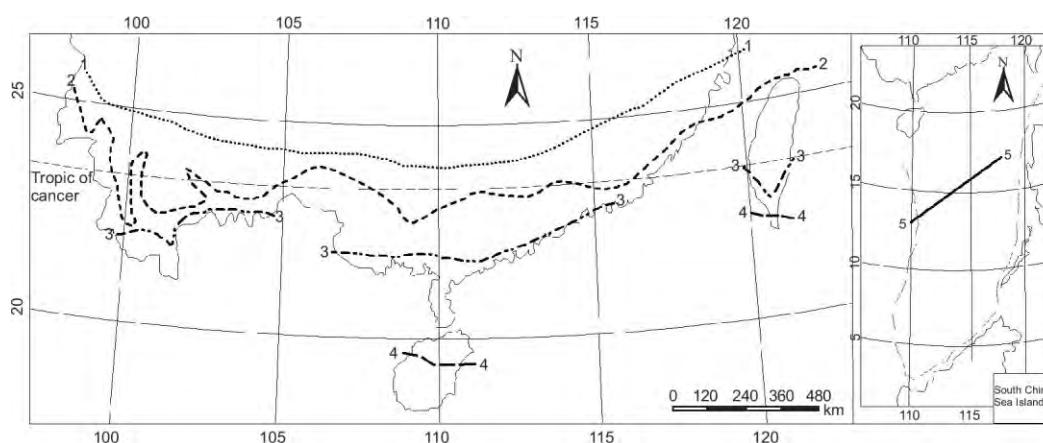
作者简介: 朱华(1960-), 男, 研究员, 主要从事植被与植物区系研究(E-mail: zhuh@xtbg.ac.cn)。

24°30' N in western Yunnan and 29° N in southern Xizang(Tibet) disjunctly in deep valleys. This line is to the far north of the northern boundary of the marginal tropical climate(21° 30' N, effective accumulative temperature of 8000°C with > 10°C daily mean temperature), implying that the tropical zone may have extended further north during geological history than it does at present. This conclusion supports the northward shift of tropical and subtropical broadleaved evergreen forest in eastern China during the mid-Holocene from paleoecological studies.

Key words: Tropical zone boundary; Flora; Vegetation; Biogeography; China

中国的热带北界一直都存在争议,在气候、地理、林业、农业、植被-土壤等层面上,因强调的对象不同,差异很大^[1-7]。竺可桢等^[8]和唐永奎^[9]根据对物候的详细研究,曾一再指出,南岭是我国亚热带的南界,南岭以南便可称为热带,热带北界可达北纬 24°~25°(广西和广东),甚至达到北纬 26°的福建。地理学家曾昭璇和任美镔等^[2,10,11]认为热带的指标应主要考虑植被和土壤,因为他们是在某种环境下长期发育的结果,最能反映当地的生物气候条件,而不宜过多地依赖积温。任美镔等提出中国的热带范围是:在广西和广东大致以北回归线附近为热带北界;在云南西部可达北纬 25°;在福建东南部,因受海洋影响,热带北界在沿海地区一直可到莆田附近(约北纬 25°30'N);在台湾东北海岸因受强大的暖流影响,热带性较同纬度的福建沿海更强,包括了全台湾岛;在西藏东南部因受地形及印度洋季风影响,热带景观沿雅鲁藏布江谷

地向北,一直可分布到墨脱附近海拔 1000 m 以下的谷地(北纬 29°左右,在这条线以南,月平均温度 20°C的天气有 8 至 11 个月)。侯学煜^[12,13]从天然植被和农业植被两方面详细分析后认为,台湾中北部、福建东南部,广东和广西大陆南部的热带植被特征比亚热带特征多,故应划入热带,称为过渡性热带季雨林、雨林区,而不属于亚热带常绿阔叶林区。任美镔等划定的热带北界大致与侯学煜提出的中国植被区划相符合。《中国自然地理区划》^[14]也建议将 >10°C的有效年积温达 8000°C、最冷月均温 >16°C、日平均温度 >10°C的区域划分为中国热带北界。此外,也有学者建议依据最低月均温 18°C、年生物温(annual biotemperature) 25°C(即用与 Köppen-Geiger 的赤道季风气候分类一致的标准^[15,16])的标准划分中国热带北界^[17,18]。唐永奎^[9]曾对中国不同的热带北界划分作了初步归纳,后来的一些研究者也接受了这个归纳(图 1)。



界线 1: 主要依据广义热带植物分布的北界,大致在中国南部 24°~25°N、东南部达 26°N(福建); 界线 2: 主要依据月均温 20°C 以上的天气达 8 至 11 个月; 界线 3: 主要依据 >10°C 有效年积温达 8000°C、最冷月均温 >16°C; 界线 4: 主要依据最低月均温 18°C、年生物温 25°C; 界线 5: 多用于赤道和热带的分界。
Line 1: Northern boundary of tropical zone in broad sense(without winter all year round); Line 2: Based on 8 – 11 months with monthly mean temperature over 20°C; Line 3: Based on effective accumulative temperature of 8000°C with >10°C daily mean temperature and mean temperature of coldest month >16°C; Line 4: Based on lowest monthly mean temperature of 18°C and annual biotemperature of 25°C; Line 5: Often used for equatorial and tropical boundaries.

图 1 文献建议的 5 条中国热带北界 (引自唐永奎^[9])

Fig. 1 Five suggested demarcation lines for the tropical zone in China (redrawn from Tang^[9])

如果按照新近发表的世界高精度生物气候图^[19], 整个中国南部都被划到广义的热带范畴。

中国种子植物属的地理成分分布格局显示, 热带成分 80% 以上的地区均在中国南部和东南部北纬 22°30′ 以南, 这些地区的基带或水平地带性区域, 原始植被中存在东南亚类型的热带雨林, 并且在中国分布的典型热带植物科也仅分布在这一区域, 这个纬度线也曾被建议作为中国的生物地理热带北界^[20, 21], 其与目前应用的中国热带雨林、季雨林北界相吻合^[12, 13, 22, 23]。中国热带地区种子植物区系的研究也证实它们主要分布在西藏东南部、云南西南至东南部、广西西南部、广东雷州半岛、台湾南部和海南岛, 这些地区的植物区系具有明显的热带亚洲亲缘关系, 在生物地理上均属于热带亚洲的北部边缘^[24, 25], 并在生物地理分区上属于古热带植物区系^[26]或吴征镒等^[27]建议的古热带植物区的马来西亚亚区。

针对以上差异较大的中国热带北界的建议, 我们从中国植物区系的地理成分分布格局及中国热带植物区系的角度进行分析研究, 进一步探讨生物地理上的中国热带北界。

1 种子植物地理分布格局和热带植物区系界定了中国热带区域

根据吴征镒等^[28, 29]对中国种子植物科属分布区类型的研究和地理成分的划定, 我们基于覆盖全国各地地理区的 202 个地区植物区系研究资料和这些地区的 841 个气象站资料, 对中国种子植物属的地理成分分布格局及其与气候、经纬度分布的关系进行了研究, 并结合这些分布格局探讨了中国植被分带和植物区系分区^[20]。通过对 202 个地区植物区系研究资料的统计, 得到以下结果: (1) 除世界分布、栽培、外来和入侵成分外, 中国种子植物属地理成分分布与纬度密切相关; (2) 热带分布属 (即泛热带分布、热带亚洲至热带美洲间断分布、旧世界热带分布、热带亚洲至热带大洋洲分布、热带亚洲至热非洲分布及热带亚洲分布的合计) 占中国各地区植物区系的 0.84% ~ 94.38%, 其最高值出现在中国云南南部和海南; (3) 热带分布属在北纬 30° 以南的地区占优势, 热带成分随纬度增加迅速减少; (4) 热带分布属中 80% 以上的地区其地理分界线在中国南部约北纬 22°30′, 这条线同中国

的亚热带常绿阔叶林和热带雨林-季雨林的植被地理分界线相当^[22], 亦与泛北极植物区系和古热带植物区系的地理分界线相当^[26, 27]。

我们进一步依据覆盖中国北纬 30° 以南地区的 135 个地方植物区系研究资料, 绘制了这些地区种子植物属的地理成分频度分布图^[21], 发现热带分布属的频度分布与热带亚洲分布属的频度分布基本上一致, 热带亚洲分布属是典型的热带地理成分, 它们在地区植物区系中的比例最能反映该地区的生物地理热带属性。研究结果显示, 热带分布属中 60% 以上的地区均在中国南部北纬 24° ~ 25° 以南, 在中国东南部可达北纬 26° 以南, 这条地理线与中国南部和东南部广义的中国热带北界相符 (见图 1 中的界线 1); 热带分布属中 70% 以上区域的北界在中国南部可达北纬 23° ~ 24°, 在东南部可达到北纬 25°, 这条界线与中国南部年积温 7000℃ 等温线、年均温 20℃ 等温线相符合, 也与任美镒等^[2, 11]建议的中国热带北界一致 (见图 1 中的界线 2); 热带成分中 80% 以上的地区在中国南部和东南部位于北纬 22°30′ 以南, 与中国热带雨林、季雨林的北部界线基本吻合。经我们进一步研究发现, 热带成分中 80% 以上的中国南部地区其植物区系与中南半岛 (印度支那半岛) 各国的植物区系在科的类似性和属的类似性上分别在 96% 和 80% 以上, 表明它们之间有密切的植物区系亲缘关系, 在植物区系分区上属于同一植物区系区^[25]。同样, 在中国南部的这些地区, 在基带 (水平地带性区域) 的原始植被为热带森林 (热带雨林、季雨林)^[30-34]。分布于中国的典型热带分布科, 如龙脑香科 (Dipterocarpaceae)、单室茱萸科 (Mastixiaceae)、肉豆蔻科 (Myristicaceae)、隐翼科 (Crypteroniaceae)、四数木科 (Datiscaceae)、玉蕊科 (Lecythidaceae) 等, 除在云南西南部和西藏东南部分布较北外, 也仅分布在北纬 22°30′ 以南的区域。因此, 我们认为在地区植物区系中, 将热带成分占 80% 以上的区域作为热带地区具有较大的可靠性。

结合中国种子植物属的地理成分分布格局、中国热带植物区系、中国有分布的典型热带科、中国植被区划和植物区系分区, 我们提出北纬 22°30′ 是中国南部和东南部的生物地理热带北界, 但在云南西部热带北界可达到北纬 24°30′, 在西藏南部的深切河谷可达到北纬 29° (图 2)。

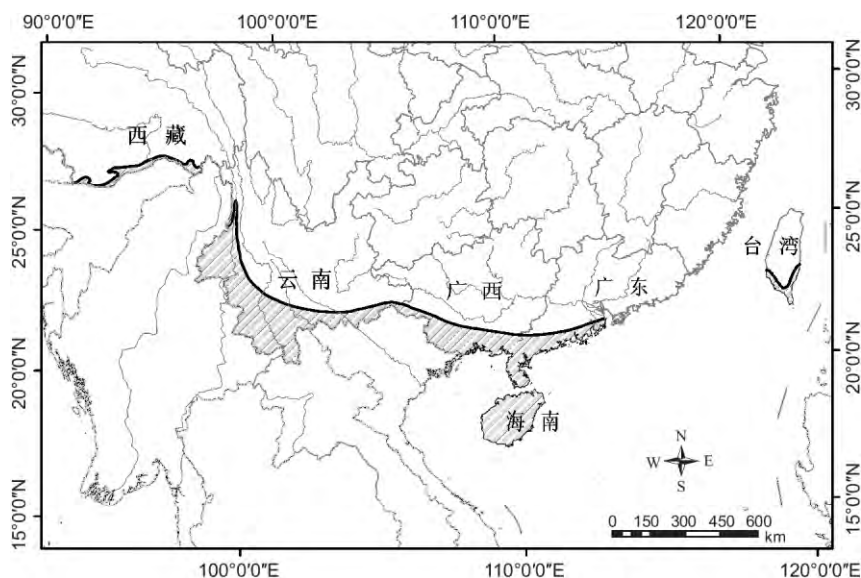


图2 本研究建议的生物地理中国热带北界(图中黑色粗线)

Fig. 2 Suggested biogeographical northern boundary of the tropical zone in China(thick black lines in figure)

2 对中国南部历史上古植被格局的推论

尽管现在气候上中国的边缘热带被认为在中国南部 $21^{\circ}30'N$ 以南、年积温 $8000^{\circ}C$ 以上的区域,但在地方植物区系中,热带分布属 80% 以上的区域在低海拔地区具有东南亚类型的热带雨林存在,其北界超出了气候上的热带,这暗示中国的热带雨林植被和热带植物区系在地质历史上曾有更为广泛的分布,也就是说中国的热带气候在地质历史上曾经更北,最近在福建($24^{\circ}12'N, 117^{\circ}53'E$)的中中新世(Middle Miocene)地层中发现了东南亚热带雨林标志性植物——龙脑香科植物^[35],进一步支持了这一推论。植物区系上的研究结果支持中国东部地区在中全新世(mid-Holocene)其热带和亚热带常绿阔叶林曾北移^[36],这也与历史上中国南部气候比现在更热的说法一致^[37]。

3 讨论

我们研究认为,热带分布属占总属数 60% 以上区域的北界在中国南部可达北纬 $24^{\circ} \sim 25^{\circ}$ (广西和广东),在东南部可达到北纬 26° (福建),这条界线大致与竺可桢等^[8]和唐永奎^[9]建议的中国热带北界相符,也与中国自然地理图集编委会建议的中国亚热带北界基本一致^[38];热带分布属占总属数 70% 以上区域的北界在中国南部可达北纬

$23^{\circ} \sim 24^{\circ}$,在东南部可达到北纬 25° ,这条界线与中国南部年积温 $7000^{\circ}C$ 等温线、年均温 $20^{\circ}C$ 等温线相符,也与任美镒等建议的中国热带北界一致^[2,11],这条线还与秦明周^[39]建议的广西热带北界基本一致(广西西部达北纬 $24^{\circ}30'$,广西东部达北纬 23°),这条北纬 $23^{\circ} \sim 24^{\circ}$ 的界线还大致与中国东南部亚热带常绿阔叶林的北界^[12,13,22]相符;热带分布属占总属数 80% 以上区域的北界在中国南部和东南部约在北纬 $22^{\circ}30'$,这条界线与中国东南部年积温 $7500^{\circ}C$ 等温线基本一致。丘宝剑和卢其尧^[40]提出,在农业气候区划上,热带的标准是: $\geq 10^{\circ}C$ 的年积温 $\geq 7500^{\circ}C$,最冷月平均温度 $\geq 15^{\circ}C$,年绝对最低气温多年平均值 $\geq 5^{\circ}C$,我们建议的生物地理热带北界与之接近。

中国的热带被认为是边缘热带,仅存在于中国的最南部,亦即中国的边缘热带在中国南部北纬 $21^{\circ}30'$ 以南、年积温 $8000^{\circ}C$ 以上的区域,在东部只到雷州半岛^[38]。丘宝剑^[6]认为“中热带”才是真正的热带,橡胶、椰子等热带作物仅生长于南海南部(生长良好、没有寒害)即可证明。另外,北纬 $21^{\circ}30'$ 也被认为是所谓真热带北界^[41]。然而,我们建议的北纬 $22^{\circ}30'$ 这条生物地理热带北界(即在地区植物区系中热带成分占 80% 以上的区域),与徐祥浩^[42]、何大章和何东^[4]从热带作物分布上建议的广东热带北界基本一致。他们认为在这条界线

以南的典型热带作物(如椰子、橡胶、咖啡、菠萝蜜、胡椒、菠萝等)在冬季无需保护而能生存。保守一点说,正如余显芳^[3]建议的年均温 22℃、年积温 8000℃、最冷月均温 15℃、平均极端低温 5℃、绝对低温 2℃的区域,且在我国东部季风区 10℃积温 >8200℃、西部季风区 >7500℃的区域,对典型热带作物如橡胶的生长发育和越冬无影响,不需防寒保护,有生产实践意义。

我们的研究中,中国种子植物属的地理成分分布格局与中国植被和植物区系区划比较匹配,热带分布属占总属数 80%以上的区域与中国分布的热带雨林及东南亚性质的热带植物区系分布区域比较符合,并且在该区域具有典型的热带分布科,该界线也与世界植物区系分区的泛北极或东亚植物区系与古热带植物区系的分界线相一致。

4 结论

中国种子植物属的地理成分分布格局指示了 3 条生物地理界线,这 3 条生物地理界线分别与来自不同学科所建议的 3 条中国热带北界相符合。在植物区系中热带分布属占总属数 60%以上的地区在中国南部位于北纬 24°~25°以南,在中国东南部可达北纬 26°以南,这条地理线与中国南部和东南部广义的中国热带北界相符合。热带分布属占总属数 70%以上区域指示的北界在中国南部达北纬 23°~24°,在东南部达到北纬 25°,这条界线与任美镔等从地理上建议的中国热带北界一致,还大致与中国东南部亚热带常绿阔叶林的北界相吻合。热带分布属占总属数 80%以上的区域在中国南部和东南部基本上在北纬 22°30′以南,以此作为中国热带地区北界具有较大的可靠性。这条地理线与中国的热带雨林、季雨林的北部界线相符合,并且与世界植物区系分区中的东亚或泛北极植物区与古热带植物区的分界线相符。因此,建议将北纬 22°30′这条线作为生物地理上的中国热带北界。

参考文献:

- [1] 张宏达. 关于热带与亚热带的分界问题[J]. 植物生态学与地植物学丛刊, 1964, 2(1): 139-140.
- [2] 曾昭璇, 刘南威, 李国珍, 周祐生. 我国热带界线问题的商榷[J]. 地理学报, 1980, 35(1): 87-92.
- [3] 余显芳. 关于我国热带界线的划分问题[J]. 热带地理, 1981(4): 8-14.
- [4] 何大章, 何东. 我国热带气候的北界问题[J]. 地理学报, 1988, 43(2): 176-183.
He DZ, He D. On the northern boundary of tropical climate of China [J]. *Acta Geographica Sinica*, 1988, 43(2): 176-183.
- [5] 黄秉维. 关于中国热带界线问题[J]. 地理科学, 1992, 12(2): 97-107.
Huang BW. Comment on "the extent of tropical zones in China" [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 1992, 12(2): 97-107.
- [6] 丘宝剑. 中国农业气候区划新论[J]. 地理学报, 1986, 41(3): 202-209.
Qiu BJ. A new discussion on the regionalization of agro-climate in China [J]. *Acta Geographica Sinica*, 1986, 41(3): 202-209.
- [7] 丘宝剑. 关于中国热带的北界[J]. 地理科学, 1993, 13(4): 297-306.
Qiu BJ. The northern border of tropical zone in China [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 1993, 13(4): 297-306.
- [8] 竺可桢, 宛敏渭. 物候学[M]. 北京: 科学出版社, 1963.
- [9] 唐永奎. 我国热带界线的探讨[J]. 植物生态学与地植物学丛刊, 1964, 2(1): 135-137.
Tang YL. An analysis of boundaries of tropical zone [J]. *Acta Phytocologia et Geobot Sinica*, 1964, 2(1): 135-137.
- [10] 任美镔, 杨幼章. 从矛盾观点论中国自然区划的若干理论问题——再论中国自然区划问题[J]. 南京大学学报: 自然科学版, 1963, 3: 1-12.
- [11] 任美镔, 曾昭璇. 论中国热带的范围[J]. 地理科学, 1991, 11(2): 101-108.
Ren ME, Zen ZX. The extent of tropical zone in China [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 1991, 11(2): 101-108.
- [12] 侯学煜. 再论中国植被分区的原则和方案[J]. 植物生态学与地植物学丛刊, 1981, 5(4): 290-301.
Hou XY. A further discussion on the principle and scheme for vegetation regionalization of China [J]. *Acta Phytocologia et Geobot Sinica*, 1981, 5(4): 290-301.
- [13] 侯学煜. 中国自然地理: 植物地理: 下册: 中国植被地理[M]. 北京: 科学出版社, 1988: 183-185.
- [14] 中国科学院地理研究所. 中国自然地理区划[M]. 北京: 科学出版社, 1959.
- [15] Kottek M, Grieser J, Beck C, Rudolf B, Rubel F. World map of Köppen-Geiger climate classification updated [J]. *Meteorologische Zeitschrift*, 2006, 15(3): 259-263.
- [16] Peel MC, Finlayson BL, McMahon TA. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification [J]. *Hydro Earth Syst Sc*, 2007, 11: 1633-1644.
- [17] 方精云. 也论我国东部植被带的划分[J]. 植物学报, 2001, 43(5): 522-533.
Fang JY. Re-discussion about the forest vegetation zonation in eastern China [J]. *Acta Botanica Sinica*, 2001, 43

- (5): 522–533.
- [18] Fang JY, Song YC, Liu HY, Piao SL. Vegetation–climate relationship and its application in the division of vegetation zone in China [J]. *Acta Botanica Sinica*, 2002, 44(9): 1105–1122.
- [19] Metzger MJ, Bunce Robert GH, Jongman Rob HG, Sayre R, Trabucco A, Zomer R. A high–resolution bioclimate map of the world: a unifying framework for global biodiversity research and monitoring [J]. *Global Ecol Biogeogr*, 2013, 22(5): 630–638.
- [20] Zhu H, Ma YX, Yan LC, Hu HB. The relationship between geography and climate in the generic–level patterns of Chinese seed plants [J]. *J Syst Evol*, 2007, 45(2): 134–166.
- [21] Zhu H. Geographical elements of seed plants suggest the boundary of the tropical zone in China [J]. *Palaeogeogr Palaeocl*, 2013, 386: 16–22.
- [22] 吴征镒. 中国植被 [M]. 北京: 科学出版社, 1980.
- [23] 张新时. 中华人民共和国植被图 [M]. 北京: 地质出版社, 2007.
- [24] 朱华. 中国南部热带植物区系 [J]. 生物多样性, 2017, 25(2): 204–217.
- Zhu H. Tropical flora of southern China [J]. *Biodiversity Science*, 2017, 25(2): 204–217.
- [25] Zhu H. A biogeographical study on tropical flora of southern China [J]. *Ecol Evol*, 2017, 7(23): 10398–10408.
- [26] 塔赫他间 (Takhtajan A.) 著. 世界植物区系区划 [M] 黄观程译. 北京: 科学出版社, 1988.
- [27] Wu ZY, Wu SG. A Proposal for a new floristic kingdom (realm): The Asiatic kingdom, its delineation and characteristics [C] // Zhang AL, Wu SG ed. *Floristic Characteristics and Diversity of East Asian Plants*. Beijing: China Higher Education, 1996: 3–42.
- [28] 吴征镒. 中国种子植物属的分布区类型 [J]. 云南植物研究, 1991(增刊4): 1–139.
- Wu ZY. The areal–types of Chinese genera of seed plants [J]. *Acta Botanica Yunnanica*, 1991(S4): 1–139.
- [29] 吴征镒, 周浙昆, 孙航, 李德铎, 彭华. 种子植物分布区类型及其起源和分化 [M]. 昆明: 云南科技出版社, 2006: 1–566.
- [30] Zhu H. Ecological and biogeographical studies on the tropical rain forest of south Yunnan, SW China with a special reference to its relation with rain forests of tropical Asia [J]. *J Biogeogr*, 1997, 24(5): 647–662.
- [31] Zhu H. The tropical flora of southern Yunnan, China, and its biogeographical affinities [J]. *Ann Mo Bot Gard*, 2008, 95: 661–680.
- [32] Zhu H. Advances in biogeography of the tropical rainforest in southern Yunnan, southwestern China [J]. *Trop Conserv Sci*, 2008, 1: 34–42.
- [33] Zhu H. Biogeographical evidences help revealing the origin of Hainan Island [J]. *PLoS One*, 2016, 11(4): e0151941.
- [34] Zhu H. The tropical forests of southern China and conservation of biodiversity [J]. *Bot Rev*, 2017, 83: 87–105.
- [35] Shi GL, Li HM. A fossil fruit wing of *Dipterocarpus* from the Middle Miocene of Fujian, China and its palaeoclimatic significance [J]. *Rev Palaeobot Palynol*, 2010, 162: 599–606.
- [36] Yu G, Chen X, Ni J, Cheddadi R, Guiot J, Han H. Palaeovegetation of China: a pollen data–based synthesis for the mid–Holocene and Last Glacial Maximum [J]. *J Biogeogr*, 2000, 27(3): 635–664.
- [37] Morley CK. A tectonic model for the Tertiary evolution of strike–slip faults and rift basins in SE Asia [J]. *Tectonophysics*, 2002, 347: 189–215.
- [38] 中国自然地理图集编委会. 中华人民共和国国家自然地图集 [M]. 北京: 中国地图出版社, 1999: 64–80, 116–120.
- [39] 秦明周. 广西热带北界的确定 [J]. 南京大学学报: 自然科学版, 1995, 31(4): 685–690.
- Qin MZ. The north–line division of tropical zone in Guangxi [J]. *Journal of Nanjing University: Natural Sciences*, 1995, 31(4): 685–690.
- [40] 丘宝剑, 卢其尧. 我国热带——南亚热带的农业气候区划 [J]. 地理学报, 1961, 27: 28–37.
- Qiu BJ, Lu QR. Agroclimatic division of tropical and southern subtropical regions in China [J]. *Acta Geographica Sinica*, 1961, 27: 28–37.
- [41] 吴绍洪, 杨勤业, 郑度. 生态地理区域界线划分的指标体系 [J]. 地理科学进展, 2002, 21(4): 302–309.
- Wu SH, Yang QY, Zheng D. An index system for boundaries of eco–geographical regions of China [J]. *Progress in Geography*, 2002, 21(4): 302–309.
- [42] 徐祥浩. 关于华南的热带与亚热带分界线问题 [J]. 植物生态学与地植物学丛刊, 1982, 6(1): 74–77.
- Xu XH. On the demarcation line of tropical and subtropical zones in southern China [J]. *Acta Phytocologia et Geobotanica Sinica*, 1982, 6(1): 74–77.

(责任编辑: 张平)