

# 中国青年冈的地理分布与气候的关系\*

倪健

(中国科学院植物研究所, 北京 100093)

宋永昌

(华东师范大学环境科学系, 上海 200062)

**摘要** 在广泛收集青冈 (*Cyclobalanopsis glauca* (Thunb.) Oerst.) 地理分布资料的基础上, 利用目前国际上比较流行的研究植被与气候相互关系的指标和方法, 包括 Kira 的水热指标、Penman 的公式、Thornthwaite 的指标和气候分类、Holdridge 的生命地带分类系统指标, 以及年平均气温 (TEMP)、1 月均温、7 月均温、极端最高气温、极端最低气温、 $\geq 10$  °C 积温和年降水量, 研究了青冈在中国的地理分布与气候的关系, 讨论了青冈垂直分布的上限、下限以及北界的 Kira 热量指标状况。根据孢粉资料和历史文献, 探讨了历史时期青冈在中国大陆的分布与变迁及其与气候的关系, 并利用 Holdridge 生命地带分类系统指标预测了 CO<sub>2</sub> 浓度倍增条件下中国青年冈分布区的可能变化。

**关键词** 青冈, 地理分布, 气候指标, 古植被与古气候, 全球变化

## RELATIONSHIPS BETWEEN GEOGRAPHICAL DISTRIBUTION OF *CYCLOBALANOPSIS GLAUCA* AND CLIMATE IN CHINA

Ni Jian

(Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093)

Song Yong-chang

(Department of Environmental Science, East China Normal University, Shanghai 200062)

**Abstract** *Cyclobalanopsis glauca* (Thunb.) Oerst., which belongs to China-Japan subtype of East Asia district, is a evergreen broadleaved tree of Fagaceae. It is distributed widely in the subtropical region of China and also in Japan, Korea, India, Burma, etc. According to the data on geographical distribution of this species collected extensively, the indexes of vegetation-climate interaction which used widely in the world were calculated. These indexes include Kira's water-temperature indexes, Penman's formula, Thornthwaite's indexes and climatic classification, Holdridge's life zone classification system, annual average temperature, mean temperature in January, mean temperature in July, maximum temperature, minimum temperature,  $\geq 10$  °C accumulated temperature and precipitation. The relationships between geographical distribution of *Cyclobalanopsis glauca* and climate in China has been analysed and the Kira's water-temperature indexes on the distributional upper limit, lower limit and north limit have been discussed. The relation of species versus climate in historical period and the relation of species versus climate in historical period have also been discussed according to palynological and written records. The potential change of the tree species distributional area under elevated CO<sub>2</sub> concentration has been forecast based on Holdridge's indexes of life zone classification system and GCM models' conclusions.

收稿日期: 1995-10-20 接受日期: 1996-01-31

\* 国家自然科学基金资助项目 (No. 39370135)。

**Key words** *Cyclobalanopsis glauca*, Geographical distribution, Meteorological indexes, Palaeovegetation and palaeoclimate, Global change

青冈是壳斗科的常绿树种,地理成分属于东亚分布的中国-日本变型。广义概念上的青冈广泛分布于我国亚热带地区,在日本、朝鲜、印度、缅甸等国也有分布。分布区气候、土壤条件变化很大。该种适应性广,比较耐寒、耐阴、耐瘠薄,其木材、种子等有较大用途,且是水源涵养林和水土保持林的主要树种。因此,研究青冈地理分布与气候的关系,可以提供青冈之所以如此广泛分布的环境解释,为青冈的栽培和利用提供一定的理论依据。

## 1 材 料 和 方 法

### 1.1 气象资料

气象资料取自国家气象局气象台站 1951~1980 年的记录<sup>[1]</sup>,所记录的气象台站的指标为:经度、纬度、海拔高度、年及各月平均气温、降水量、蒸发量、相对湿度、日照百分率及风速,均包括年及各月平均值或合计值。其分布区内的气象台站有 271 个。

### 1.2 植物分布资料

根据中国植物志、各省植物志、中国植被、各省植被、中国树木志、各省森林及有关书籍、论文,野外调查记录、地方性植被调查报告、地方性植物名录、检索表及植物标本采集记录等,广泛收集青冈(*Cyclobalanopsis glauca* (Thunb.) Oerst. = *Quercus glauca* Thunb.)的水平 and 垂直分布资料,标绘到相应的地理分布图上(图 1)。

### 1.3 气候指标

利用目前国际上比较流行的研究植被与气候相互关系的指标和方法,包括 Kira<sup>[2]</sup>的温暖指数、寒冷指数,徐文铎<sup>[3]</sup>的湿润指数,Penman<sup>[4]</sup>的可能蒸散和干燥度,Thornthwaite<sup>[5]</sup>的可能蒸散和水分指数,Holdridge<sup>[6]</sup>的生命地带分类系统指标生物温度和可能蒸散率,以及单一气象因子年平均气温、1 月均温、7 月均温、极端最高气温、极端最低气温、 $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 积温和年降水量。

将青冈的分布区范围绘制到相应的气象站分布图上(图 1),读取该分布范围内的气象站点的记录,依次进行青冈分布的气象指标的计算。

### 1.4 气温直减率

以山地气温直减率为  $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$  进行计算。利用山地已知海拔高度的气象数据,按气温直减率每间隔 100 m 高度计算 1 次,并换算成温暖指数和寒冷指数值。根据植物垂直分布资料的上限和下限,确定植物垂直分布范围内的温暖指数和寒冷指数值及年平均气温值。

### 1.5 热量指数分布的最适范围

在资料充足且可靠的情况下,树种温度分布曲线的范围可以认为是该树种分布最大的水平或垂直分布范围,考虑到推算的误差及其它,确定树种的主要分布范围是必要的。

Yim<sup>[7]</sup>用半峰宽作图法确定树种热量分布最适范围。在此基础上,洪必恭和李绍珠<sup>[8]</sup>认为热量指数的频数分布接近于正态分布时,可采用半峰宽(*PWH*)计算法确定树种热量分布最适范围。即: $PWH = 2.354 \times S$ ,式中 *S* 为树种热量指数值的标准差,最适范围为  $X - 0.5 PWH - X + 0.5 PWH$  (*X* 为热量指数的平均值)。

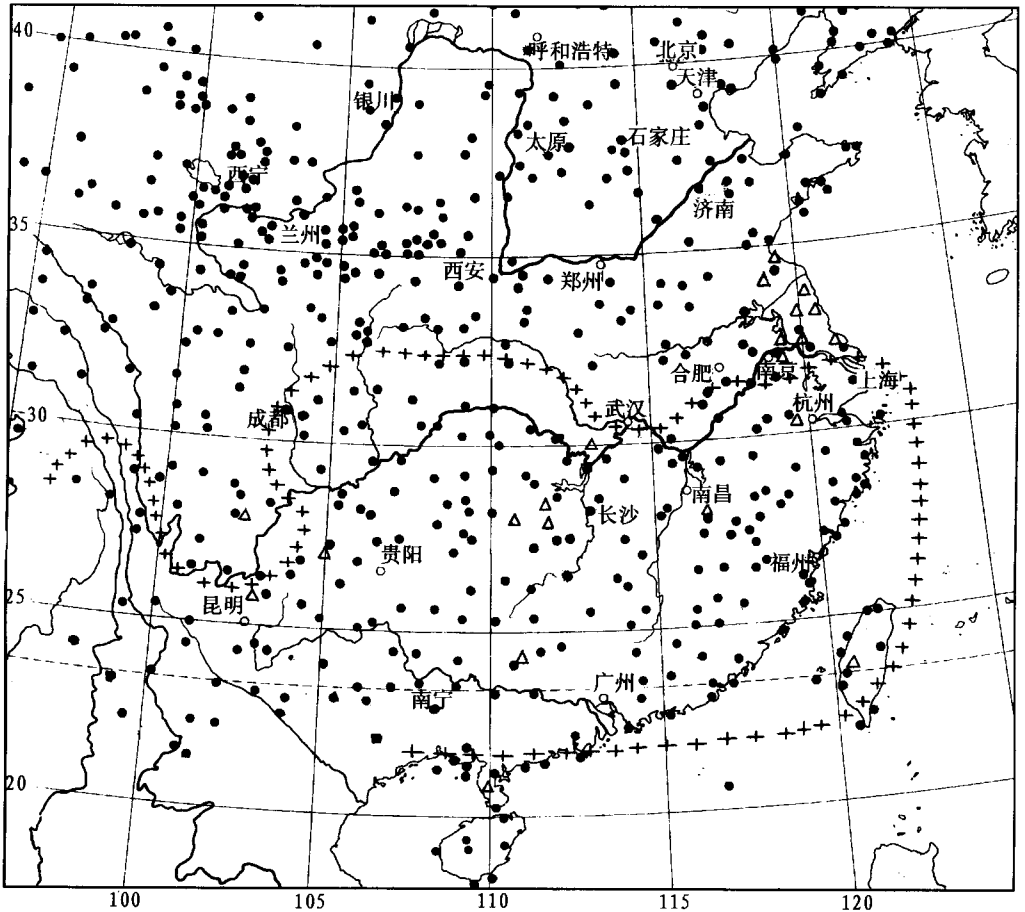


图 1 青冈的地理分布

+++ 地理分布范围；● 气象站点位置；△ 孢粉样点。

Fig.1 Geographical distribution of *Cyclobalanopsis glauca*

+++ Range of geographical distribution; ● Location of meteorological stations; △ Sites of palynology.

本文采用半峰宽法确定热量指数分布的最适范围。

## 2 结果和讨论

### 2.1 青冈的地理分布

青冈的地理成分属于东亚分布中的中国-日本变型，广泛分布于我国长江流域各省区，在印度、缅甸、朝鲜和日本也有分布。它是我国亚热带东部湿润常绿阔叶林带的主要树种之一，也是常绿栎类自然分布较北的一种，以及北亚热带常绿阔叶与落叶阔叶混交林组成成分中重要的常绿阔叶树种。其分布北界大致为我国常绿阔叶树种的分布北界，即秦岭-伏牛山南坡-桐柏山北坡-大别山北坡-宁镇山地-上海大金山岛一线；南可分布到北纬 23° 附近的广西的靖西、德保，广东北部，福建南部以及台湾的玉山主峰；西可分布到云南怒江上游，西藏喜马拉雅山东南坡；向东分布到我国的浙江、福建沿海和台湾。其大致分布范围为北纬 23°~33°，东经 97°~121°。垂直分布一般在海拔 1 500 m 以下，但云南山区则多生于海拔 700~2 400 m，四川在海拔 500~1 800 m，北部山地海拔 700~1 000 m

以下。

以青冈为优势种或共优种的群落是我国亚热带常绿阔叶林的主要类型之一,混生有青冈的群落北可以分布到甘肃、陕西、河南等省的南部,南可分布到广东、广西的南部,西可分布到西藏的察隅,东可分布到浙江、福建和台湾。在日本、印度、缅甸等国也有分布。

青冈在我国各省区内的地理分布范围见表 1,其地理分布见图 1。

表 1 青冈在中国的地理分布  
Table 1 The geographical distribution of *Cyclobalanopsis glauca* in China

省区 Provinces	地理分布 Geographical distribution	海拔高度 Altitude (m)
甘肃 Gansu	南部,秦岭南坡各县 Southern region of Qinling mountain	500 ~ 1 200
陕西 Shaanxi	南部,大巴山和秦岭南坡各县 Southern area of Daba and Qinling mountain .	500 ~ 1 200
河南 Henan	伏牛山南部、大别山和桐柏山区 South Funiu mountain, Dabie and Tongbai mountain	500 ~ 1 300
上海 Shanghai	大金山岛 Dajinshan island	40 ~ 90
江苏 Jiangsu	南部丘陵山区、镇江观音山、南京牛首山、宜兴骊山、岗下纸房 South mountain region	
安徽 Anhui	皖南及皖西大别山区广布,以皖南徽州地区、祁门、休宁、歙县、太平、贵池、铜陵、东至、旌德、广德、宁国及大别山区南坡的金寨、霍山、岳西、潜山、太湖、宿松、桐城等县最为普遍,江淮地区的庐江、无为、和县、含山等县有零星生长 Southern area, Dabie mountain region	< 1 200
浙江 Zhejiang	全省各地 All the region	< 900
江西 Jiangxi	全省各地丘陵山地和山脊,以中部较常见 All the region, mainly at middle area	300 ~ 900
福建 Fujian	全省各地,集中于闽中河谷和闽西北山地,以莆田、仙游、永春、闽南、福州、闽侯、闽清、永泰、南平、尤溪、三明、福安、沙县、南清、平和、崇安、长汀为普遍 All the region, mainly at middle and northwest areas	100 ~ 1 200
台湾 Taiwan	全省各地,可至玉山主峰 All the region	< 2 000
湖北 Hubei	西南部,兴山、竹溪、巴东、武昌、黄陂、红安、罗田、崇阳、蒲折 Southwest region	< 1 600
湖南 Hunan	全省各地山区和丘陵区广布 All the region	< 800
广西 Guangxi	全省各地,西部、北部地区普遍 All the region	
广东 Guangdong	全省各地,西部地区普遍 All the region	
四川 Sichuan	盆地西部至东北部较广布 West and northeast area	850 ~ 1 600
贵州 Guizhou	全省各地均有分布,以黔中喀斯特地貌上分布较为集中,如梵净山、松桃、锦屏、榕江、黎平、黄平、雷山、惠水、平塘、册亨、兴义、贵阳、务川、桐梓、思南、绥阳、赤水 All the region, mainly at middle area	1 000 ~ 1 300
云南 Yunnan	滇西北、中、东南部,富宁普遍 Northwest, middle and southeast regions	700 ~ 2 400
西藏 Xizang	东南部,察隅、樟木 Southeast region	1 600 ~ 1 900

## 2.2 青冈分布与气候指标的关系

通过计算,得出了青冈分布的各种气候指标(表 2),包括 1 月均温、7 月均温、极端最高气温、极端最低气温、 $\geq 10^\circ\text{C}$  积温、年平均气温、Kira 温暖指数及寒冷指数、徐文铎湿润指数、Penman 可能蒸散、干燥度、Thorntwaite 潜在可能蒸散、热量系数、湿润系数、干旱系数、水分指数、Holdridge 生物温度、可能蒸散、年降水量和可能蒸散率。

从表 2 可以看出,由于青冈是中国亚热带常绿阔叶林中分布最广泛的一个树种,也是分布最北的树种之一,故而其热量指数的全范围和最适范围都较宽,但平均值却偏低。比如年平均气温,其全范围为  $3.0 \sim 23.8^\circ\text{C}$ ,最适范围  $13.0 \sim 20.8^\circ\text{C}$ ,都相对较宽,而其平均值为  $16.9^\circ\text{C}$ ;温暖指数的全范围为  $35.6 \sim 225.1^\circ\text{C}\cdot\text{月}$ ,最适范围为  $110.5 \sim 185.5^\circ\text{C}\cdot\text{月}$ ,而其平均值仅为  $148.0^\circ\text{C}\cdot\text{月}$ ,相对较低;其它热量指标如可能蒸散平均值为  $900 \sim 1\ 000\ \text{mm}$ ,生物温度平均值为  $16.9^\circ\text{C}$ ,其规律都如此。由此看来,青冈分布广泛,其耐寒

性较强,寒冷指数的平均值为  $-1.5\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{月}$ 。

表 2 青冈分布的气候指标  
Table 2 The climatological indexes of *Cyclobalanopsis glauca*

指标 Indexes	平均值 Mean	标准差 S D	最小值 Min	最大值 Max	最适范围 Optimal range	
T1 ( $^{\circ}\text{C}$ )	6.249	4.363	-7.000	16.800	1.115	11.384
T7 ( $^{\circ}\text{C}$ )	26.500	3.252	11.800	30.100	22.673	30.328
TMAX ( $^{\circ}\text{C}$ )	38.321	3.462	22.300	44.900		
TMIN ( $^{\circ}\text{C}$ )	-7.837	5.684	-26.300	2.900		
AT ( $^{\circ}\text{C}$ )	5 438.793	1 363.621	560.700	8 777.800	3 833.811	7 043.775
TEMP ( $^{\circ}\text{C}$ )	16.884	3.331	3.000	23.800	12.964	20.804
WI ( $^{\circ}\text{C}\cdot\text{month}$ )	148.000	31.853	35.600	225.100	110.509	185.491
CI ( $^{\circ}\text{C}\cdot\text{month}$ )	-1.488	4.344	-37.900	0.000		
HI	10.247	6.014	3.000	92.000		
PE (mm)	992.879	153.789	610.680	1 489.480	811.869	1 173.888
A	0.788	0.262	0.310	2.410		
APE (mm)	908.453	149.837	422.100	1 301.900	732.096	1 084.811
TE (mm)	90.854	14.985	42.200	130.200	73.207	108.482
IH	61.164	45.187	0.000	355.600		
IA	9.614	8.130	0.000	47.600		
IM	51.547	48.308	-47.600	355.600		
BT ( $^{\circ}\text{C}$ )	16.907	3.255	4.400	23.800	13.075	20.738
PET (mm)	996.643	192.077	258.400	1 400.800	770.568	1 222.717
PREC (mm)	1 351.233	347.162	478.300	2 394.500		
PER	0.778	0.218	0.130	2.011		

T1.1月均温; T7.7月均温; TMAX. 极端最高气温; TMIN. 极端最低气温; AT.  $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$  积温; TEMP. 年平均气温; WI. Kira 温暖指数; CI. 寒冷指数; HI. 徐文铎湿润指数; PE. Penman 可能蒸散; A. 干燥度; APE. Thornthwaite 潜在可能蒸散; TE. 热量系数; IH. 湿润系数; IA. 干旱系数; IM. 水分指数; BT. Holdridge 生物温度; PET. 可能蒸散; PREC. 年降水量; PER. 可能蒸散率。

T1. Average temperature of January; T7. Average temperature of July; TMAX. Maximum temperature; TMIN. Minimum temperature; AT. Accumulated temperature; TEMP. Annual average temperature; WI. Kira's warmth index; CI. Coldness index; HI. Xu's humidity index; PE. Penman's potential evapotranspiration; A. Aridity; APE. Thornthwaite's potential evapotranspiration; TE. Thermal coefficient; IH. Humidity index; IA. Aridity index; IM. Moisture index; BT. Holdridge's biotemperature; PET. Potential evapotranspiration; PREC. Annual precipitation; PER. Potential evapotranspiration ratio.

从干燥度平均值为 0.788, 可能蒸散率平均值为 0.778, 水分指数平均值为 51.5 来看, 青冈应该是生长在较湿润的生境中, 但干燥度、可能蒸散率在有些分布地区超过了 1.0, 相对来说生境稍干燥, 青冈亦比较耐寒。

Thornthwaite<sup>[5]</sup> 曾按水分指数和热量系数划分气候类型, 对青冈来说, 其水分指数为 51.55, 热量系数为 90.85, 属于  $B_2B_3'$  型, 为中温湿润型 (mesothermal humid type)。Holdridge<sup>[6]</sup> 生命地带分类系统是以年平均生物温度、降水量和可能蒸散率来表示自然植被性质的一种图式。对青冈来说, 其生物温度为  $16.9\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 降水量为 1 351.2 mm, 可能蒸散率为 0.778。若按 Holdridge 的系统, 暖温带与亚热带的界限为生物温度  $17\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 则属于暖温带湿润森林生命地带类型中的树种。若按中国的情况, 暖温带和亚热带的界限为  $14\text{ }^{\circ}\text{C}$ <sup>[9]</sup>, 则应属于亚热带湿润森林生命地带类型中的树种。

### 2.3 青冈分布界限的热量状况

表 3 列出了青冈垂直分布上限、下限以及北界的年平均气温、Kira 的温暖指数和寒冷指数。其气象站点数分别为 24、31、24 个。

表 3 青冈分布界限的热量指标

Table 3 The thermal indexes of distributional limit of *Cyclobalanopsis glauca*

指标	上限 Upper limit				下限 Lower limit				北界 North limit			
	平均值 Mean	标准差 SD	SD/9	SD/3	平均值 Mean	标准差 SD	SD/9	SD/3	平均值 Mean	标准差 SD	SD/9	SD/3
TEMP	11.89	1.96			15.49	1.29			13.35	2.74		
WI	90.86	17.55	1.95		126.66	14.94	1.66		109.39	24.67	2.74	
CI	-8.22	7.23		2.41	-0.75	1.25		0.42	-9.38	8.87		2.96

TEMP, WI, CI 同表 2。TEMP, WI, CI are same as table 2.

Kira<sup>[10]</sup>指出限制常绿阔叶林树种向北和向上分布的热量指标是冬季几个月的寒冷指数值,而不是温暖指数值。据 Kira<sup>[11]</sup>资料,青冈在日本的分布北界和上限的寒冷指数值可达  $-15^{\circ}\text{C}\cdot\text{月}$ ,而日本常绿阔叶林的北界和上限则与  $-10^{\circ}\text{C}\cdot\text{月}$ 的等值线相一致。Yim<sup>[7]</sup>指出朝鲜的 11 种常绿阔叶树种分布北界的寒冷指数值是  $-6.3^{\circ}\text{C}\cdot\text{月}$ ,最低值达  $-15^{\circ}\text{C}\cdot\text{月}$ ,考虑到天然植被遭受严重破坏,根据自然保护区中残存的常绿阔叶林分布的寒冷指数值可达  $-9.3^{\circ}\text{C}\cdot\text{月}$ ,推测朝鲜常绿阔叶林北界的寒冷指数值为  $-10^{\circ}\text{C}\cdot\text{月}$ 。

以上说明个别树种分布的生态幅度往往比由它组成的群落的幅度更大,分布较北些。青冈在我国分布向北可达甘肃的文县、康县,那里的寒冷指数值为  $-13.5^{\circ}\text{C}\cdot\text{月}$ ,陕西省的镇安达  $-11.4^{\circ}\text{C}\cdot\text{月}$ ,两地均位于嘉陵江上游各地,受四川盆地亚热带气候及秦岭南坡小地形气候的影响,较适合于青冈的生存和生长。常绿阔叶林北界的寒冷指数值与我国大陆性气候的特点密切相关,单从青冈分布北界的寒冷指数值平均为  $-9.38^{\circ}\text{C}\cdot\text{月}$ 来看,推测我国的常绿阔叶林分布北界的寒冷指数值要比日本和朝鲜的高些。洪必恭和李绍珠<sup>[8]</sup>曾研究了江苏几种常绿阔叶树种分布的北界和上限的热量条件,青冈北界(产地数为 8)的温暖指数为  $109.2^{\circ}\text{C}\cdot\text{月}$ ,寒冷指数为  $-8.2^{\circ}\text{C}\cdot\text{月}$ ,分布上限(产地数为 6)的温暖指数为  $92.1^{\circ}\text{C}\cdot\text{月}$ ,寒冷指数为  $-12.3^{\circ}\text{C}\cdot\text{月}$ 。与本文的计算结果相比,温暖指数近似,而寒冷指数差异较大,可能与取样及地区差异有关。

Fang 和 Yoda<sup>[12]</sup>研究了我国常绿阔叶林分布上限与气候因子的关系,认为寒冷指数是影响森林分布上限的最显著因子。从青冈分布上限的寒冷指数平均值为  $-8.22^{\circ}\text{C}\cdot\text{月}$ 来看,我国青冈林分布的上限不会低于此值。

一般而言,年平均气温、温暖指数、寒冷指数这 3 个指标与树种的地理分布界限越相关,它们的标准差就越低<sup>[11]</sup>。然而,标准差的直接比较是无意义的,因为温暖指数和寒冷指数是几个月的平均气温的总和,而我国常绿阔叶林生长季的长度(日平均气温大于  $5^{\circ}\text{C}$  的天数)为 9 个月,绝大多数地方冬季低于  $5^{\circ}\text{C}$  的时间为 3 个月,故寒冷指数的标准差除以 3,而温暖指数的标准差则除以 9,以便同年平均气温的标准差进行比较。本文由于只有 1 个树种,无法进行比较,仅将标准差列在表 3 中。

从表 3 还可看出,青冈分布上限的温暖指数值要比分布北界的低,这主要是与温度向上的递减率比由南向北的(纬度)递减率快(约 1 000 倍),以及由于山地气候温差较小,温度的有效性大,同时随着海拔的升高湿度增大,在一定程度上弥补了温度的不足有关。而寒冷指数值低的原因则较复杂,除了树种分布地点的小气候与按高度推算出的气象资料之间有误差外,在较高的山地存在着逆温现象等都应考虑在内。

## 2.4 历史时期青冈的分布与变迁及其与气候的关系

壳斗科植物是被子植物中相当古老的一群,可能起源于劳亚古陆。孢粉资料研究表明,青冈孢粉在地质时期和历史时期就广泛分布于中国大陆(表4)。

表 4 中国青冈孢粉资料  
Table 4 Palynological records on *Cyclobalanopsis glauca* in China

地点 Sites	年代 Chronology (a BP)	植被类型 Vegetation type	气候特征 Climate	参考文献 References
上海 Shanghai				
青浦 Qingpu	2 720 ~ 1 530	常绿阔叶林 EBLF <sup>1)</sup>	中亚热带 MS <sup>7)</sup>	[15]
青浦 Qingpu	5 360	常绿阔叶林 EBLF	中亚热带 MS	[15]
松江 Songjiang	2 910	常绿阔叶林 EBLF	中亚热带 MS	[15]
金山 Jinshan	3 855 ~ 2 500	常绿阔叶林 EBLF	中亚热带 MS	[15]
江苏 Jiangsu				
连云港、灌云、灌南 Lianyungang, Guanyun, Guannan	10 000 7 600	常绿落叶阔叶混交林 EDBMF <sup>2)</sup> 常绿落叶阔叶混交林 EDBMF	温热潮湿 W M <sup>8)</sup> 温暖湿润 W Hd <sup>9)</sup>	[16] [16]
吴县 Wuxian	5 460 ~ 4 000	常绿落叶阔叶混交林 EDBMF	较目前温湿 W Hd	[17]
宜兴 Yixing	晚更新世 Late Pleistocene	常绿落叶阔叶混交林 EDBMF 常绿阔叶林 EBLF	中亚热带 MS 北亚热带 NS <sup>10)</sup>	[17] [18]
启东 Qidong	7 000 ~ 6 500	常绿落叶阔叶混交林 EDBMF		[18]
无锡、洞庭西山 Wuxi, Xishan of Dongting	6 000 ~ 5 500 7 500 ~ 5 000	常绿落叶阔叶混交林 EDBMF 常绿阔叶林 EBLF		[17] [17]
南京、镇江、江阴 Nanjing, Zhenjiang, Jiangyin	15 000 ~ 13 700 9 000 ~ 6 000 5 500 ~ 4 000	针阔叶混交林 CBMF <sup>3)</sup> 常绿落叶阔叶混交林 EDBMF 常绿落叶阔叶混交林 EDBMF	较暖湿 W Hd 高湿热 Ht M <sup>11)</sup> 温暖潮湿 W M	[19]
安徽芜湖 Wuhu, Anhui	15 000 ~ 13 700 9 000 ~ 6 000, 5 500 ~ 4 000	针阔叶混交林 CBMF 常绿阔叶林 EBLF		[19] [19]
湖北沙市 Shashi, Hubei	7 500 ~ 6 000	常绿阔叶林 EBLF	中亚热带 MS	[18]
浙江余姚 Yuyao, Zhejiang	6 800 ~ 5 600	常绿落叶阔叶混交林 EDBMF	更温暖湿润 W Hd	[20]
江西南昌 Nanchang, Jiangxi	全新世大西洋期 Holocene, Atlantic	山地常绿落叶阔叶混交林 M-EDBMF <sup>4)</sup>	温暖湿润 W Hd	[21]
湖南湘阴、湘乡、汉寿 Xiangyin, Xiangxiang, Hanshou of Hunan	全新世中叶 Mid-Holocene	常绿阔叶林 EBLF	温暖湿润 W Hd	[22]
四川德昌 Dechang, Sichuan	第三纪晚期 Tertiary	常绿阔叶林 EBLF		[23]
贵州织金 Zhijin, Guizhou	23 000	山地常绿落叶阔叶混交林 M-EDBMF	温稍湿 W Hd	[24]
云南滇池 Dianchi, Yunnan	43 800 ~ 11 800 11 800 ~ 6 900 6 900 ~ 3 800 3 800 ~ 现在 Present	松林 ~ 常绿阔叶林 CBMF 常绿阔叶林 EBLF 常绿阔叶林 EBLF 常绿阔叶林 EBLF	凉而潮湿 C M <sup>12)</sup> 温暖潮湿 W M 较今温暖而潮湿 W M 变凉而略干 C D-Hd <sup>13)</sup>	[25]
台湾 Taiwan	更新世中晚期 Late Mid - Pleistocene	壳斗科常绿阔叶林 EBLF		[26]
广西桂林 Guilin, Guangxi	8 500 ~ 3 800	常绿和落叶阔叶林 EBLF EDBMF	比现在温暖 W <sup>14)</sup>	[27]
广东雷州半岛 Leizhou peninsula, Guangdong	400 000 ~ 240 000 130 000 ~ 80 000 80 000 ~ 晚更新世 Late Pleistocene	山地常绿阔叶林 MEBLF <sup>5)</sup> 山地常绿阔叶林 MEBLF 山地雨林或常绿林 MRF <sup>6)</sup> EBLF	温暖偏干 W D <sup>15)</sup> 温暖潮湿 W M 温凉湿润 W Hd	[28]

1) EBLF. Evergreen broadleaved forest; 2) EDBMF. Evergreen-deciduous broadleaved mixed forest; 3) CBMF. Coniferous-broadleaved mixed forest; 4) MEDBMF. Mountain-EDBMF; 5) MEBLF. Mountain-EBLF; 6) MRF. Mountain rain forest; 7) MS. Mid-subtropical; 8) W M. Warm and moist; 9) W Hd. Warm and humid; 10) NS. Northern Subtropical; 11) Ht M. Hot and moist; 12) C M. Cool and moist; 13) C D-Hd. Cool and dry-humid; 14) W. Warm; 15) W D. Warm and dry.

在地质时期和历史时期,我国气候经历了多次温暖期和寒冷期,在 8 500 ~ 3 000 a BP 之间,是全新世的大暖期,气温比现在高 1 ~ 2 °C<sup>[13]</sup>,当时我国亚热带的北界虽有波动,但总的来说要比现在偏北得多<sup>[14]</sup>。从表 4 中青冈孢粉的分布来看,在所列出的全新世以来每个比较温暖而潮湿的时期,一般都有青冈的存在,说明青冈一直都是适应温暖而湿润的亚热带气候的,其分布范围要比现在广阔得多。

现代的青冈分布较北,在江苏可达宜兴附近甚至更北,但过去青冈曾大量分布至江苏南京、镇江、江阴、启东、无锡,其气候相当于现代的中亚热带,而且可达连云港地区,可见当时北亚热带的位置至少在连云港一线附近,比现代要偏北约 3 个纬度。同时在安徽芜湖和湖北的沙市都可找到青冈的分布,这都说明当时的气候确实比现在温暖而潮湿。全新世以来青冈分布的南端比现代偏南约 2 个纬度,可达广东的雷州半岛。在东部可达台湾,西南分布到云南,因资料欠缺,有些地区未能查到青冈的分布。但从总体来看,当时青冈的分布范围还是相当广泛的,而且气温比现代要高,湿度也大。

## 2.5 CO<sub>2</sub> 倍增条件下青冈分布区的变迁

根据若干个大气环流模型(GCMs)模拟的 CO<sub>2</sub> 浓度加倍条件下中国大陆的气候和降水的变化,最可能的一般结果是:(1)年平均气温增加 2 °C,年降水量增加 20%;(2)年平均气温增加 4 °C,年降水量增加 20%<sup>[26]</sup>。

利用 Holdridge 生命地带分类系统指标预测了 CO<sub>2</sub> 浓度倍增条件下中国青冈分布的可能变化(表 5)。

表 5 CO<sub>2</sub> 倍增条件下青冈分布的 Holdridge 生命地带系统指标

Table 5 Indexes of Holdridge's life zone system of *Cyclobalanopsis glauca* under doubled CO<sub>2</sub> concentration

CO <sub>2</sub> 浓度倍增 Doubled CO <sub>2</sub> concentration	指标 Indexes	平均值 Mean	标准差 SD	最小值 Min	最大值 Max	最适范围 Optimal range	
气温增加 2 °C	BT	18.856	3.288	5.800	25.700	14.986	22.725
降水增加 20%	PET	1 111.625	193.914	339.000	1 513.800	883.388	1 339.862
TEMP + 2 °C	PREC	1 621.479	416.592	574.000	2 873.400		
PREC + 20%	PER	0.725	0.200	0.150	1.920		
气温增加 4 °C	BT	20.621	3.189	7.300	26.900	16.868	24.374
降水增加 20%	PET	1 215.774	188.118	428.400	1 588.000	994.359	1 437.189
TEMP + 4 °C	PREC	1 621.479	416.592	574.000	2 873.400		
PREC + 20%	PER	0.795	0.219	0.190	2.060		

TEMP. Temperature; PREC. Precipitation. BT, PET, PREC and PER are same as table 2.

青冈在气温增加 2 °C 和 4 °C 以及降水增加 20% 时生物温度小于 24 °C, 都未超出亚热带热量范围, 可能蒸散率在气温增加 2 °C 时减小 0.05, 在气温增加 4 °C 时增大 0.02, 但仍属湿润森林类型, 只是其分布区发生了变化。

在 CO<sub>2</sub> 浓度倍增条件下, 中国亚热带常绿阔叶林区域的 Holdridge 气候指标与地理三维要素纬度(LAT)、经度(LONG)和海拔高度(ALT)之间有显著的相关性, 其地理回归模型如下:

$$BT_2 = 53.5583 - 0.6324LAT - 0.1346LONG - 0.004051ALT \quad R = 0.94419 \quad N = 306$$

$$PER_2 = 2.4773 + 0.01099LAT - 0.01760LONG - 0.0001362ALT \quad R = 0.43690 \quad N = 306$$



$$BT4 = 55.3498 - 0.6217LAT - 0.1380LONG - 0.003918ALT \quad R = 0.94226 \quad N = 306$$

$$PER4 = 2.6011 + 0.01500LAT - 0.01910LONG - 0.0001279ALT \quad R = 0.43986 \quad N = 306$$

按此回归模型, 得出了气候变暖后青冈分布区的变迁幅度为 $(T+2)$ ℃时, 纬向扩大 $3.09^\circ$ , 经向扩大 $2.79^\circ$ ;  $(T+4)$ ℃时, 纬向扩大 $5.90^\circ$ , 经向缩小 $0.89^\circ$ 。由此可见, 气温增加 $2$ ℃、降水增加 $20\%$ 后, 青冈分布区在经向和纬向上都扩大了 $3$ 个经纬度; 气温增加 $4$ ℃、降水增加 $20\%$ 后, 青冈分布区在纬向上扩大了近 $6$ 个纬度, 在经向上则缩小了近 $1$ 个经度, 这与经向上的干湿差异有关, 气温升高后, 可能蒸散率也增大了。总的来看, 青冈分布区范围较宽, 在气候变暖后, 因其对温度和水分条件的适应性强而分布区越来越扩大。

### 3 结 论

**3.1** 青冈是我国亚热带东部湿润常绿阔叶林带的主要树种之一, 也是常绿栎类分布于其北部的一种, 以及北亚热带常绿阔叶与落叶阔叶混交林组成成分中重要的常绿阔叶树种, 广泛分布于我国长江流域各省区, 包括青海、甘肃、陕西、河南、江苏、安徽、湖北的南部, 上海、浙江、江西、福建、台湾、湖南、广西、广东、贵州的大部分地区, 以及四川盆地、云南东部、西藏东南部, 在印度、缅甸、朝鲜和日本也有分布。

**3.2** 青冈的地理分布范围广阔, 从其分布的气候指标来看, 热量指数的全范围和最适范围都较宽, 而平均值却较低, 说明青冈的耐寒性相对较强; 从干燥度和水分指数来看, 所处生境较湿润, 但在某些地区青冈亦较耐旱。青冈的气候类型属于亚热带湿润森林生命地带类型的中温湿润型。

**3.3** 青冈垂直分布上限的温暖指数为 $90.86$ ℃·月, 寒冷指数为 $-8.22$ ℃·月, 分布北界的温暖指数为 $109.39$ ℃·月, 寒冷指数为 $-9.38$ ℃·月, 与日本、朝鲜及国内其他学者的研究有相同之处, 亦有相异之处, 由此可讨论常绿阔叶林的分布界限问题。

**3.4** 孢粉资料研究表明, 青冈孢粉在地质时期和历史时期就广泛分布于中国大陆, 包括江苏的连云港、灌云、灌南、吴县、宜兴、启东、无锡、洞庭西山、南京、镇江、江阴等地, 上海青浦、松江、金山等县, 安徽芜湖, 湖北沙市, 浙江余姚, 江西南昌, 湖南湘阴、湘乡、汉寿等县, 四川德昌, 贵州织金, 云南滇池, 广西桂林, 广东雷州半岛, 台湾等地区。当时我国亚热带的北界比现在偏北得多, 而且在每个比较温暖而潮湿的时期, 一般都有青冈的存在。说明青冈一直都是适应温暖而湿润的亚热带气候的, 其分布范围要比现在广阔得多, 偏北约 $3$ 个纬度, 偏南约 $2$ 个纬度。

**3.5** 气温增加 $2$ ℃, 降水增加 $20\%$ 后, 青冈分布区在经向和纬向上都扩大了 $3$ 个经纬度; 气温增加 $4$ ℃、降水增加 $20\%$ 后, 青冈分布区在纬向上扩大了近 $6$ 个纬度, 在经向上则缩小了近 $1$ 个经度。总的来看, 青冈分布区范围较宽, 在气候变暖后, 因其对温度和水分条件的适应性强而分布区越来越扩大。

**3.6** 常绿阔叶林对气候变化的反应并不十分敏感和剧烈, 在全新世大暖期常绿阔叶林区域的气温高出现在 $1\sim 2$ ℃。当时青冈北部即可分布到江苏连云港一带, 南部达广东雷州半岛, 如果未来全球气候变化后, 使得常绿阔叶林区域气温升高和降水增加, 那么, 青冈的分布区是可能发生变化的, 至于变化的幅度当视气温升高和降水增加的幅度而定, 如上面所预测的。当然, 这种预测都是静态的、简单的, 尚未考虑植物的生理生态特征、植被对气

候的反馈、植被反应的滞后性等诸多因素的影响,所以此方面的预测工作仍需要加强和完善。

### 参 考 文 献

- 1 北京气象中心资料室编. 中国地面气候资料. 北京:气象出版社, 1984.
- 2 Kira T. On the altitudinal arrangement of climatic zone in Japan. *Kanti-Nougaku*, 1948. 2:143 ~ 173
- 3 徐文铎. 吉良的热量指数及其在中国植被中的应用. *生态学杂志*, 1985. (3): 35 ~ 39
- 4 Penman H L. Eastmating evaporation. *Transaction Amer Geophys Union*, 1956. 37:43 ~ 40
- 5 Thornthwaite C W. An approach toward a rational classification of climate. *Geograph Rev*, 1948. 38:57 ~ 94
- 6 Holdridge L R. *Life Zone Ecology*. San Jose. Costa Rica: Tropical Science Center, 1967.
- 7 Yim Y J. Distribution of forest vegetation and climate in the Korean peninsula. III. Distribution of tree species along the thermal gradient. *Jap J Ecol*, 1977. 27:177 ~ 189
- 8 洪必恭, 李绍珠. 江苏主要常绿阔叶树种的分布与热量关系的初步研究. *生态学报*, 1981. 1:105 ~ 111
- 9 张新时. 研究全球变化的植被-气候分类系统. *第四纪研究*, 1993. 2:157 ~ 169
- 10 Kira T. *Terrestrial Ecosystem—an Introduction*. Tokyo: Kyoritsu Shuppan, 1976.
- 11 Kira T. A climatological interpretation of Japanese vegetation zones. In: Miyawaki A, Tuxen R eds., *Vegetation Science and Environmental Protection*. Tokyo: Maruzen, 1977. 21 ~ 30
- 12 Fang J Y, Yoda K. Climate and vegetation in China(V). Effect of climatic factors on the upper limit of distribution of evergreen broadleaf forest. *Ecol Res*, 1991. 6:113 ~ 125
- 13 竺可桢. 中国近五千年来气候变迁的初步研究. *中国科学*, 1973. 2:168 ~ 189
- 14 龚高法, 张丕远, 张瑾榕. 历史时期我国气候带的变迁及生物分布界限的推移. *历史地理*, 1987. 5:1 ~ 10
- 15 王开发. 根据孢粉分析推断上海地区近六千年来的气候变迁. *大气科学*, 1978. 2:139 ~ 144
- 16 杨薰文, 华棣. 江苏连云港 Z35 孔的微体和孢粉化石及其地质意义. *华东师范大学学报(自然科学版)*, 1985. 4:91 ~ 98
- 17 王开发, 张玉兰. 太湖地区第四纪沉积的孢粉组合及其古植被、古气候. *地理科学*, 1983. 1:17 ~ 26
- 18 唐领余, 沈才明, 韩辉友等. 长江中下游地区 7500 ~ 5000 a. B. P. 气候变化序列的初步研究. *海洋地质与第四纪地质*, 1991. 11:73 ~ 83
- 19 徐馨, 张树维, 周曙. 芜湖-江阴地区三万年来的植被、气候与环境的初步研究. *南京大学学报(自然科学版)*, 1987. 23:556 ~ 577
- 20 孙湘君, 杜乃秋, 陈明洪. “河姆渡”先人生活时期的古植被、古气候. *植物学报*, 1981. 23:146 ~ 151
- 21 王开发. 南昌西山洗药湖泥炭的孢粉分析. *植物学报*, 1974. 16:83 ~ 93
- 22 李文漪. 湖南洞庭层泥炭的孢粉分析及其地质时代和古地理. *地理学报*, 1962. 28:27 ~ 38
- 23 四川植被协作组. *四川植被*. 成都:四川人民出版社, 1980.
- 24 韩辉友, 俞锦标. 贵州大干坝孢粉分析与古环境探讨. *植物学报*, 1988. 30:76 ~ 84
- 25 吴玉书, 陈因硕, 肖家仪. 滇池地区四万年以来的植被和气候演变初步研究. *植物学报*, 1991. 33:450 ~ 458
- 26 王鑫. 从古植物古气候讨论冰河时代的地形作用. 见:周昌弘, 彭镜毅, 赵淑妙编, *台湾植物资源与保育论文集*. 1987. 229 ~ 238
- 27 李文漪, 姚祖驹. 中国北、中亚热带晚第四纪植被与环境的研究. 北京:海洋出版社, 1993.
- 28 雷作洪, 郑卓. 雷州半岛田洋火山口盆地第四纪孢粉植物群与古气候. *植物学报*, 1993. 35(增刊):128 ~ 138