

中国木荷及木荷林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)

摘要 在广泛收集木荷(*Schima superba* Gardn. et Champ.)及木荷林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-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,以及单一气象因子年平均气温、年降水量等,分析研究了木荷及木荷林在中国的分布与气候的关系,讨论了木荷分布上限、下限以及北界的 Kira 热量指标状况,并利用 Holdridge 生命地带分类系统指标预测了未来气候变化条件下中国木荷及木荷林分布区的可能变化。

关键词 植被-气候关系;木荷及木荷林;地理分布;气候指标;全球变化

Relationship between geographical distribution of *Schima superba*, its forest and climate in China Ni Jian (Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093), *J. Plant Resour. & Environ.* 1996, 5(3): 28~34

Based on the records of geographical distribution of *Schima superba* Gardn. et Champ. and its forest collected extensively, the international prevalent indices and methods of vegetation-climate interaction were used and calculated. These indices include Kira's water-temperature indexes, Penman's formula, Thornthwaite's indexes and climatic classification, Holdridge's life zone classification system, single meteorological factors on temperature, precipitation and so on. The relationship between geographical distribution of *S. superba*, its forest and climate in China has been analyzed and the Kira's water-temperature indexes on the distributional upper limit, lower limit and north limit have been discussed. The potential change of this tree species distributional area has been forecasted under future climatic changes using Holdridge's indexes of life zone classification system and GCMs conclusions.

Key words vegetation-climate interaction; *Schima superba* Gardn. et Champ. and its forest; geographical distribution; meteorological indices; global change

1. 引 言

植物地理分布的研究是植物学、生态学、地理学以及气候学上的古老问题,气候是决定地球上植被类型及物种分布的最主要因素,而植被和物种的分布则是地球气候最鲜明的反映和标志。因此,分析研究这种植被-气候相互关系及作出植被类型相应的气候解释,具有重要的理论和现实意义,尤其在研究全球变化时,植被-气候相互关系的确定意义更加重大。

木荷(*Schima superba* Gardn. et Champ.)为山茶科木荷属的常绿乔木,是中国亚热带特有的地理成分,也是亚热带常绿阔叶林中常见的常绿阔叶大乔木,以木荷为优势种或以木荷与

其它典型的亚热带常绿阔叶树种共优所组成的常绿阔叶林群落类型——木荷林,在中国中亚热带地区广泛分布,也是中国中亚热带东部地区分布最为广泛的常绿阔叶林类型之一。木荷是我国南方的主要造林树种之一,其木材是纺织、国防、交通、建筑等方面常用的优质木材,树皮、树叶都有较高的医药和工业价值,而且木荷及木荷林是我国中亚热带地区常绿阔叶林以及陆地生态系统的重要组成部分,研究它们与气候的关系,可发现其广泛分布的气候机制,为木荷的栽培、保护及合理利用提供理论基础,并为全球变化和陆地生态系统的研究作出一点贡献。

2. 材料和方法

2.1 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^[1],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、日照百分率及风速,均包括年及各月平均值或合计值。

2.2 植物分布资料

根据全国及各省植物志、树木志、森林、植被及有关论文和调查报告等,广泛收集木荷及木荷林的水平 and 垂直分布资料,标绘到相应的地理分布图上。

2.3 气候指标的计算

利用目前国际上比较流行的研究植被-气候相互关系的指标和方法,包括 Kira 的温暖指数 WI、寒冷指数 CI^[9],徐文铎的湿润指数 HI^[7],Penman 的可能蒸散 PE 和干燥度 A^[2,12],Thornthwaite 的可能蒸散 APE 和水分指数 IM^[3,13],Holdridge 的生命地带分类系统指标生物温度 BT 和可能蒸散率 PER^[4,5,8],以及单一气象因子气温 TEMP、降水 PREC 等。

将木荷及木荷林的分布区范围绘制到相应的气象站点分布图上,读取该分布范围内的气象站点的记录,依次进行木荷及木荷林分布的气象指标的计算。

2.4 气温直减率的计算

以山地气温直减率为 $0.5^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 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 高度计算一次,并换算成 WI 和 CI 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 WI 和 CI 值、平均值及最适分布范围。

2.5 热量指数分布的最适范围确定

采用半峰宽法^[6,14]确定热量指数分布的最适范围。半峰宽 $\text{PWH} = 2.354 \times S$,其中 S 为树种热量指数值的标准差,最适范围 $X - 0.5\text{PWH} \sim X + 0.5\text{PWH}$,X 为热量指数的均数。

3. 结果与讨论

3.1 木荷及木荷林的地理分布

木荷是中国亚热带特有分布的区系成分,产长江以南各省市,分布较广,其地理范围大致在北纬 31° 以南,东经 105° 以东的广大地区,北界东起长江南岸的皖南丘陵,沿湖北黄陂、应城到神农架南部,止于大巴山脊南部;西部以邛崃山为界;南延台湾、广东、广西、海南等地。其分

布的海拔高度在西部可达 2 000 m, 至中部逐渐降低, 一般在 700 m 以下, 而到了赣东北和闽西南的武夷山地区, 由于气候变暖, 其分布海拔高度可达 1 000~1 500 m。木荷林是指以木荷为优势种或与栲类、樟类树种共优组成的常绿阔叶林类型, 作为典型中亚热带水平地带性植被类型之一, 主要分布在长江以南至北回归线以北的广大丘陵地带, 其北界基本上与中亚热带的北界相吻合。分布的地区包括浙江、江西、安徽南部、福建西北部、湖南、两广北部、四川东南部以及贵州东部。木荷在其分布区内时常与栲属 (*Castanopsis*)、青冈属 (*Cyclobalanopsis*)、石栎属 (*Lithocarpus*) 的种类相互交错分布, 形成了不同的群落类型, 如浙江东部地区的木荷、栲树 (*Castanopsis fargesii*)、米槠 (*Ca. carlesii*) 林, 安徽南部、浙江中部及南部、两广北部、福建北部、湖南东南部、江西大部等中亚热带东部湿润亚区的木荷、甜槠 (*Ca. eyrei*) 林, 浙江、福建、江西、湖南、贵州东部一些低山丘陵区的木荷、米槠林, 而在其分布区南部、中西部至西南部, 木荷通常以伴生种出现。其地理分布如图 1。

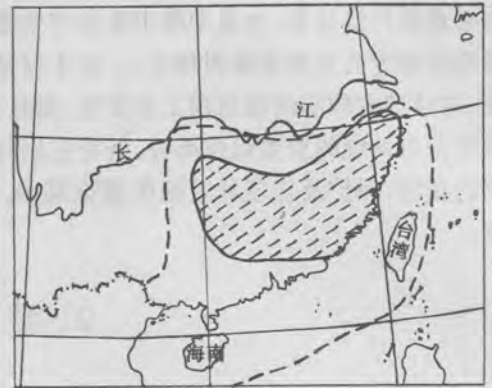


图 1 中国木荷及木荷林的地理分布图

Fig 1 Geographical distribution of *Schima superba* and its forest in China

----- 木荷 *Schima superba*

—— 木荷林 *Schima superba* forest

3.2 木荷及木荷林分布与气候指标的关系

通过木荷及木荷林分布区内 203 和 124 个气象台站的计算, 分别得出其分布的各种气候指标如表 1 和表 2。

从表 1 中可以看出, 由于木荷广泛分布于中亚热带东部常绿阔叶林中, 其生境条件温暖而湿润。对于其分布区的热量指标, $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温平均值为 $6\ 036.1^{\circ}\text{C}$, 年均温平均值为 18.3°C , 温暖指数为 $164.6^{\circ}\text{C}\cdot\text{月}$, 三种方法计算的可能蒸散都在 $985\sim 1\ 080\ \text{mm}$ 之间, 生物温度为 18.3°C , 可见热量指数都相对较高, 生境温暖, 而从其寒冷指数为 $-0.3^{\circ}\text{C}\cdot\text{月}$ 来看, 其分布区冬季寒冷的程度很小, 只有分布区北部的某些地区冬季月平均温度低于 5°C 。对于其分布的水分指标, 年降水量平均值达 $1\ 511.2\ \text{mm}$, 干燥度为 0.729, 水分指数为 58.3, 可能蒸散率为 0.741, 均属于湿润、潮湿的范围。木荷分布区的水热指标范围都较宽, 热量指标最适范围亦相对较宽。

按 Thornthwaite 的水分指数 IM 和热量系数 TE 来划分气候类型, 木荷属于 B2B3' 型, 为中温湿润型 (Mesothermal humid type), 按 Holdridge 的生命地带分类系统来划分, 木荷属于暖温带湿润森林生命地带类型, 即中国的亚热带类型。

从表 2 中看出木荷林在中亚热带地区广泛分布, 但其分布范围要小于木荷树种。从其分布的热量指标平均值来看, 1 月均温 6.1°C , 年平均气温 17.3°C , $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温 $5\ 517.8^{\circ}\text{C}$, 温暖指数为 $153.6^{\circ}\text{C}\cdot\text{月}$, 生物温度 $17.3^{\circ}\text{C}\cdot\text{月}$, 均比木荷低, 3 种方法计算的可能蒸散 PE、APE、PET 都在 $928\sim 1\ 020\ \text{mm}$ 之间, 也低于木荷, 但其热量指数仍然相对较高, 生境温暖, 而其寒冷指数 $-0.309^{\circ}\text{C}\cdot\text{月}$, 与木荷接近, 说明其分布区冬季寒冷的程度也很低。而其分布的水分指

标,年降水量平均值达 1 533.3 mm,水份指数 69.3,高于木荷,干燥度为 0.681,可能蒸散率为 0.688,均低于木荷,属于湿润森林的范围。木荷林分布的热量指标最适范围低于木荷树种,尤其是右边界。

按 Thornthwaite 的 IM 和 TE 来划分气候类型,木荷林属于 B2B3' 型,为中温湿润型,按 Holdridge 的生命地带分类系统来划分,木荷林属于亚热带湿润森林生命地带类型。

表 1 中国木荷分布的气候指标

Tab 1 The meteorological indices of *Schima superba* in China

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	
1月均温 T1(°C)	8.018	5.132	-3.300	23.500	1.978	14.058
7月均温 T7(°C)	27.661	2.130	17.700	30.100	25.155	30.168
极端最高气温 TMAX(°C)	38.613	2.830	27.100	44.900		
极端最低气温 TMIN(°C)	-5.993	6.155	-22.000	17.700		
≥10℃积温 AT(°C)	6036.109	1478.114	2143.000	9775.000	4296.368	7775.849
年平均气温 TEMP(°C)	18.317	3.355	7.800	26.800	14.368	22.266
Kira 温暖指数 WI(°C·mon)	164.561	32.360	103.400	261.000	126.473	202.648
寒冷指数 CI(°C·mon)	-0.325	0.803	-6.300	0.000		
徐文铎湿润指数 HI	10.347	3.525	4.000	32.000		
Penman 可能蒸散 PE(mm)	1060.576	194.491	637.780	1878.100	831.660	1289.491
干燥度 A	0.729	0.205	0.310	1.580		
Thor. 潜在可能蒸散 APE(mm)	985.406	173.157	553.900	1601.900	781.600	1189.212
热量系数 TE(mm)	98.539	17.316	55.400	160.200	78.158	118.919
湿润系数 IH	68.757	42.683	1.800	332.300		
干旱系数 IA	10.447	8.317	0.000	44.200		
水分指数 IM	58.306	46.576	-32.400	332.300		
Holdridge 生物温度 BT(°C)	18.325	3.328	8.200	26.800	14.408	22.242
可能蒸散 PET(mm)	1080.225	196.241	484.900	1577.200	849.250	1311.201
年降水量 PREC(mm)	1511.234	300.689	797.900	2822.700		
可能蒸散率 PER	0.741	0.192	0.200	1.540		

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

3.3 木荷分布界限的热量状况

表 3 列出了木荷分布界限的 Kira 热量指标。其气象站点数分别为 11, 35 和 3 个。

Kira^[10]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。通过计算可以看出,木荷分布上限的 CI 值为 $-14^{\circ}\text{C}\cdot\text{月}$,相对来说,其垂直分布可达较高处;分布北界的 CI 值为 $-3.6^{\circ}\text{C}\cdot\text{月}$,接近中亚热带的北部。可见木荷对热量的需求还是较高的,该树种相对不耐寒。

洪必恭等^[6]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,木荷北界(产地数为 2)的温暖指数为 $130.7^{\circ}\text{C}\cdot\text{月}$,寒冷指数为 $-3.1^{\circ}\text{C}\cdot\text{月}$,分布上限(产地数为 7)的温暖指数为 $97.3^{\circ}\text{C}\cdot\text{月}$,寒冷指数为 $-8.4^{\circ}\text{C}\cdot\text{月}$ 。与本文的计算结果相比,分布北界的温暖指数和寒冷指数近似,而分布上限的值则差异较大,可能与取样数及地区差异有关。

表2 中国木荷林分布的气候指标

Tab 2 The meteorological indices of *Schima superba* forest in China

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	
1月均温 T1 (°C)	6.147	3.232	-3.100	13.900	2.343	9.951
7月均温 T7 (°C)	27.706	2.254	17.700	30.100	25.053	30.358
极端最高气温 TMAX (°C)	38.928	3.039	27.100	44.900		
极端最低气温 TMIN (°C)	-8.251	4.271	-22.000	2.900		
≥10°C积温 AT (°C)	5517.780	967.087	2143.000	7785.100	4379.518	6656.041
年平均气温 TEMP (°C)	17.304	2.462	7.800	21.500	14.406	20.202
Kira 温暖指数 WI (°C·mon)	153.626	18.366	120.300	198.300	132.009	175.242
寒冷指数 CI (°C·mon)	-0.309	0.657	-3.400	0.000		
徐文铎湿润指数 HI	10.920	3.199	5.400	24.000		
Penman 可能蒸散 PE (mm)	1008.086	121.021	736.710	1489.480	865.644	1150.528
干燥度 A	0.681	0.170	0.310	1.560		
Thor. 潜在可能蒸散 APE (mm)	928.831	109.664	553.900	1139.200	799.757	1057.906
热量系数 TE (mm)	92.881	10.967	55.400	113.900	79.974	105.789
湿润系数 IH	80.403	44.117	17.300	332.300		
干旱系数 IA	11.135	7.411	0.000	31.800		
水分指数 IM	69.265	48.200	-10.800	332.300		
Holdridge 生物温度 BT (°C)	17.313	2.434	8.200	21.500	14.448	20.178
可能蒸散 PET (mm)	1020.447	143.593	484.900	1269.100	851.437	1189.456
年降水量 PREC (mm)	1533.257	257.595	797.900	2394.500		
可能蒸散率 PER	0.688	0.161	0.200	1.270		

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

表3 中国木荷分布界限的热量状况

Tab 3 The thermal indices of distributional limit of *Schima superba* in China

指标 Indexes	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	10.15	1.24	0.14		16.57	0.77	0.09		15.40	0.00	0.00	
WI	75.70	9.21	1.02		139.17	8.84	0.98		128.43	0.09	0.01	
CI	-14.05	5.74		1.91	-0.41	0.71		0.24	-3.57	0.19		0.06

TEMP. 年平均气温 Annual average temperature (°C); WI. Kira 温暖指数 Kira's warmth index (°C·mon), CI. 寒冷指数 Coldness index (°C·mon)

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^[11]。然而,标准差的直接比较是无意义的,因为WI和CI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(年平均气温>5°C)为9个月,绝大多数地方冬季低于5°C的时间为3个月,故CI的标准差除以3,而WI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,仅将标准差列在表中,以供参考。

从表3还可以看出,木荷分布上限的热量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1000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这些特点有关。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。

3.4 未来气候变化条件下木荷及木荷林分布区的变迁

由于二氧化碳浓度增加而导致的全球气候变化,对人类环境造成极大的影响,根据若干个大气环流模型(GCMs)模拟的二氧化碳加倍条件下中国大陆的气温和降水的变化,其最可能的结果是:(1)年平均气温增加2℃,年降水量增加20%。(2)年平均气温增加4℃,年降水量增加20%^[5]。

利用 Holdridge 生命地带分类系统指标预测了 CO₂ 浓度倍增所导致的未来气候变化条件下中国木荷及木荷林分布的可能变化,如表4。

表4 未来气候变化条件下木荷及木荷林分布的 Holdridge 生命地带系统指标
Tab 4 The indexes of Holdridge's life zone system of *Schima superba* and its forest under future climatic changes

气候变化 Climatic changes	指标 Indexes	木荷 <i>S. superba</i>		木荷林 <i>S. superba</i> forest	
		平均值 Mean	标准差 SD	平均值 Mean	标准差 SD
气温增加 2℃	BT(℃)	20.263	3.338	19.240	2.447
降水增加 20%	PET(mm)	1194.623	196.744	1134.412	144.335
TEMP+2℃	PREC(mm)	1813.480	360.826	1839.908	309.112
PREC+20%	PER	0.683	0.169	0.638	0.144
气温增加 4℃	BT(℃)	21.936	3.185	20.962	2.365
降水增加 20%	PET(mm)	1293.373	187.918	1235.922	139.534
TEMP+4℃	PREC(mm)	1813.480	360.826	1839.908	309.112
PREC+20%	PER	0.740	0.176	0.694	0.151

BT. Holdridge 生物温度 Holdridge's biotemperature (℃); PET. 可能蒸散 Potential evapotranspiration (mm); PREC. Annual precipitation (mm); PER. 可能蒸散率 Potential evapotranspiration ratio

木荷及木荷林在气温增加 2℃ 和 4℃ 以及降水增加 20% 时生物温度 BT 都未超出亚热带热量范围,但其分布区发生了变化。虽然 PER 的变化均不大,但在气温增加 2℃,降水增加 20% 时,大部分地区的 PER 有所减少,即该地区气候有所变湿;而在降水增幅不变,气温增加 4℃ 时,PER 有所增加,且超过目前水平,即该地区气候变得比目前更干燥,只是可能蒸散率减少或增加的幅度均未超出湿润森林的指标范围,仍属湿润森林类型。

在未来气候变化条件下,中国亚热带常绿阔叶林区域(气象台站为 306 个)的 Holdridge 指标与纬度 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:

$$BT_2 = 53.5583 - 0.6324LAT - 0.1346LONG - 0.004051ALT \quad R = 0.9442$$

$$PER_2 = 2.4773 + 0.01099LAT - 0.01760LONG - 0.0001362ALT \quad R = 0.4369$$

$$BT_4 = 55.3498 - 0.6217LAT - 0.1380LONG - 0.003918ALT \quad R = 0.9423$$

$$PER_4 = 2.6011 + 0.01500LAT - 0.01910LONG - 0.0001279ALT \quad R = 0.4399$$

按此回归模型,得出了气候变暖后木荷及木荷林分布区的变迁幅度为 T+2℃ 时,纬向分别扩大 3.08° 和 3.06°,经向分别扩大 3.05° 和 2.95°,T+4℃ 时,纬向分别扩大 5.73° 和 5.89°,经向扩大 0.05° 和缩小 0.03°。由此可见,气温增加 2℃,降水增加 20% 后,木荷和木荷林的分

布区在经向和纬向上都扩大了约3个经纬度;在气温增加 4°C ,降水增加20%后,木荷分布区纬向上扩大了近6个纬度,在经向上木荷扩大很小,而木荷林则缩小,这与经向上的干湿度差异有关,气温升高后,可能蒸散率也增大了。总的来看,木荷及木荷林分布区范围较宽,在气候变暖后,因其对温度和水分条件和适应性强而分布区越来越扩大。

4. 结 论

(1) 木荷和木荷林在中国中亚热带地区广泛分布。木荷分布的水热指标范围都较宽,热量指标的最适范围亦相对较宽,生境温暖;木荷林的热量指标都低于木荷树种,水份指标则高于木荷,生境潮湿。按 Thornthwaite 的气候类型,木荷及木荷林均属于中温湿润型,按 Holdridge 的生命地带分类系统来划分,木荷属于暖温带湿润森林生命地带类型,即中国的亚热带类型,木荷林则为亚热带湿润森林生命地带类型。

(2) 木荷分布上限的 CI 值为 $-14^{\circ}\text{C}\cdot\text{月}$,相对来说,其垂直分布可达较高处;分布北界的 CI 值为 $-3.6^{\circ}\text{C}\cdot\text{月}$,接近中亚热带的北部。可见木荷对热量的需求还是较高的,该树种相对不耐寒。

(3) 木荷及木荷林在气温增加 2°C 和 4°C 以及降水增加20%时生物温度 BT 都未超出亚热带热量范围,但其分布区发生了变化。总的来看,木荷及木荷林分布区范围较宽,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。

参 考 文 献

- 1 北京气象中心资料室编. 1984: 中国地面气候资料(1951~1980), 气象出版社, 北京.
- 2 张新时. 1989: 植物生态学与地植物学学报 13(1): 1~9.
- 3 张新时. 1989: 植物生态学与地植物学学报 13(4): 197~207.
- 4 张新时, 杨莫安, 倪文革. 1993: 植物生态学与地植物学学报 17(2): 97~109.
- 5 张新时. 1993: 第四纪研究 2: 157~169.
- 6 洪必恭, 李绍珠. 1981: 生态学报 1(1): 105~111.
- 7 徐文铎. 1985: 生态学杂志 (3): 35~39.
- 8 Holdridge L R. 1967: Life Zone Ecology, Tropical Science Center, San Jose, Costa Rica.
- 9 Kira T. 1945: A new classification of climate in eastern Asia as the basis for agricultural geography. Kyoto: Horticultural Institute, Kyoto Univ. 1~22.
- 10 Kira T. 1976: Terrestrial Ecosystem — an introduction. Tokyo: Kyoritsu Shuppan.
- 11 Kira T. 1977: A climatological interpretation of Japanese vegetation zones. In: Miyawaki A, Tüxen R (eds.), Vegetation Science and Environmental Protection. Maruzen: Tokyo, 21~30.
- 12 Penman H L. 1956: *Transaction of American Geophysical Union* 37(1): 43~50.
- 13 Thornthwaite C W. 1948: *Geographical Review* 38: 57~94.
- 14 Yim Y J. 1977: *Jap J Ecol* 27: 177~189.

(责任编辑:盛国英)