

248-262

中国亚热带常绿阔叶林优势种 及常见种的分布与 Kira 指标的关系

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)

S718.542 S717.13

摘要 根据中国亚热带常绿阔叶林区域的气象资料和植物分布资料,利用 Kira 的温暖指数(WI)和寒冷指数(CI)及徐文铎从中变化出的湿润指数(HI)计算了中国亚热带常绿阔叶林112个优势种及常见种的水热指标值,分析了树种分布与气候的关系,并将优势种及常见种划分为5个 Kira 水热指标分布类群,它们是:G1低温半湿润型,G2低温湿润型,G3低中温湿润型,G4高中温湿润型,G5高温湿润型,计算了中国亚热带常绿阔叶林优势种和常见种分布上限的温暖指数和寒冷指数,及一些分布到亚热带北缘的树种的热量指标,通过比较分析探讨了限制常绿阔叶林树种向上和向北分布的寒冷指数特征。

关键词: 常绿阔叶林,优势种及常见种,温暖指数,寒冷指数,湿润指数,水热分布类群。

RELATIONSHIP BETWEEN KIRA'S INDEXES AND DISTRIBUTION OF DOMINANTS AND COMPANIONS OF SUBTROPICAL EVERGREEN BROADLEAVED FOREST IN CHINA

Ni Jian

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

Song Yongchang

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

Abstract Kira's warmth index(WI), coldness index(CI) and XU's humidity index(HI) of 112 dominants and main companions have been calculated. The groups of Kira's water-temperature distribution of these species have been divided into five. They are G1 (Microthermal subhumid type), G2 (Microthermal humid type), G3 (Micro-mesothermal humid type), G4 (Mega-mesothermal humid type), G5 (Megathermal humid type). The Kira's water-temperature indexes on the distributional upper limit and north limit of subtropical evergreen broadleaved forest in China have been calculated and discussed. Compared with other conclusions, the characteristics of limiting to upper and north for evergreen broadleaved forest species have been analysed.

Key words: subtropical evergreen broadleaved forest, dominants and companions, warmth index, coldness index, humidity index, water-temperature groups.

收稿日期:1995-10-29, 修改稿收到日期:1996-07-10.

植被-气候相互关系的研究一直是植物学、生态学、地理学以及气候学上的古老问题,从过去的定性研究,到现代的定量分析,这种研究一直没有中断过。由此看来,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,尤其当今全球变化问题的出现,植被-气候关系的确定意义更加重大。中国亚热带常绿阔叶林是全球常绿阔叶林的主体,也是中国植被中的重要组成部分,它以其富饶的生物资源、丰富的物种多样性和巨大的环境效益引起了人们越来越大的重视。而组成常绿阔叶林的优势种及常见种在这里发挥了巨大作用,因此很有必要研究中国亚热带常绿阔叶林优势种及常见种的分布与气候的关系,确定植物种的气候类型和气候分布界限,在理论和实践上都有一定的意义。

Kira 的温暖指数(Warmth index)和寒冷指数(Coldness index)及其干燥度指数(Humidity/aridity index)和变型是目前国际上应用较广的进行植被-气候相关研究的方法和指标之一。

Kira^[1]在研究日本气候与森林分布的关系时,首先将最早记载于欧洲地理学中的温暖指数(WI)引入植物生态学中,并提出了寒冷指数(GI)及干湿度指数(K)的概念,对日本森林植被带与热量、湿度的关系进行了一系列研究^[2-4]。Yim^[5]利用这些指标研究了朝鲜半岛树种分布与气候的关系。Federici^[6]利用 Kira 的温暖指数研究了意大利和澳大利亚西南部地区地中海型气候与植被带的关系。

中国关于这一方面的定量研究起始于80年代中期。徐文铎^[9-14]首先将 Kira 的温暖指数和寒冷指数引入我国植被与气候关系的定量研究中,并详细研究了东北地区植被与水热条件的关系。洪必恭等^[15-16]研究了江苏主要常绿阔叶树种的分布与热量的关系,及中国水青冈属植物地理分布与气候指标的关系。兆赖之^[17]利用温暖指数和寒冷指数对浙江省进行了生态气候区划。王效瑞等^[18]研究了“三北”防护林地区主要树种的分布与水热条件的关系。方精云^[19]、Fang 等^[20-22]采用 Kira 的温暖指数作为温度气候指标,研究了中国植被分布与气候的关系,方精云^[22]根据温暖指数和年平均气温、湿度指数和年平均降水量的关系,建立了在年平均气温和年平均降水量两坐标轴上刻划东亚地区植被分布格局的方法。

1 材料与方法

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^[24],部分省市按当地气象记录进行了补充,在常绿阔叶林区域所用气象台站为342个。

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,均包括年及各月平均值或合计值。

1.2 植物分布资料

利用植物志、树木志、植被、森林等文献资料,广泛收集中国亚热带常绿阔叶林优势种及常见种的水平和垂直分布资料,从中筛选出112种资料较全、地理分布范围较明确的常绿和落叶树种,作为研究的对象,它们分别属于组成中国亚热带常绿阔叶林的14个主要科:杨梅科、胡桃科、壳斗科、木兰科、樟科、山茶科、金缕梅科、交让木科、杜英科、五加科、安息香科、冬青科、杜鹃花科、山矾科。

将每个树种的分布区范围绘制到相应的中国气象站点分布图上,读取该分布范围内的气象站点的记录,依次进行植物分布的气象指标的计算。

1.3 Kira 水热指标的计算方法

1.3.1 Kira 的温暖指数 WI 和寒冷指数 CI 及徐文铎的湿度指数 HI

Kira 的热量指数包括两个含义,即温暖指数 WI 和寒冷指数 CI。温暖指数是采用月平均气温高于5℃的总和,作为植物生长的热量条件,为了计算方便,通常是以月的累加代替日的累加,同样,寒冷指数是采用月平均气温低于5℃的总和来表示。

$$\text{温暖指数 (}^{\circ}\text{C}\cdot\text{月)} \quad WI = \sum (t - 5)$$

$$\text{寒冷指数 (}^{\circ}\text{C}\cdot\text{月)} \quad CI = - \sum (5 - t) \quad \text{其中 } t \text{ 为月平均气温(}^{\circ}\text{C)}$$

徐文铎^[11]在 Kira 的热量指数基础上,提出了湿度指数(HI):

$$\text{湿度指数 (mm/}^{\circ}\text{C}\cdot\text{月)} \quad HI = P/WI \quad \text{其中 } P \text{ 为年降水量(mm)}$$

1.3.2 气温直减率

本研究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 100m 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。

1.3.3 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,确定树种和植被类型的主要分布范围是必要的。

Yim^[7]用半峰宽作图法确定树种热量分布最适范围,在此基础上,洪必恭等^[15]认为热量指数的频数分布接近正态分布时,可采用半峰宽(PWH)计算法确定树种热量分布最适范围。

半峰宽 $PWH=2.354 \cdot S$ 其中 S 为树种热量指数值的标准差。

最适范围 $X-0.5PWH \sim X+0.5PWH$ X 为热量指数的均数。

2 结果与讨论

2.1 中国亚热带常绿阔叶林优势种和常见种的水热指标分布范围

中国亚热带常绿阔叶林112个优势种及常见种的水热指标分布情况如表1,从表中可得到各优势种与常见种的温暖指数、寒冷指数和湿度指数,树种热量分布的最适范围,这些值都是与树种的地理分布范围密切相关的。

在中国亚热带常绿阔叶林区域,温暖指数 WI 、寒冷指数 CI 、湿度指数 HI 与地理三维要素(纬度 LAT ,经度 $LONG$ 、海拔高度 ALT)有显著的相关性,其地理回归模型如下:

$$WI=515.5913-6.9908LAT-1.3797LONG-0.004116ALT \quad (R=0.94157 \quad N=306)$$

$$CI=45.8484-0.6500LAT-0.2410LONG-0.005480ALT \quad (R=0.68030 \quad N=306)$$

$$HI=-31.9883-0.07231LAT+0.3698LONG-0.005067ALT \quad (R=0.43581 \quad N=306)$$

表明在常绿阔叶林区域,每向北移动一个纬度, WI 降低 $6.99\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{月}$, CI 减少 $0.65\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{月}$, HI 减少 $0.07\text{mm}/\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{月}$;每向东增加一个经度, WI 降低 $1.38\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{月}$, CI 减少 $0.24\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{月}$, HI 增加 $0.37\text{mm}/\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{月}$;每升高 100mm 海拔, WI 减少 $0.41\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{月}$, CI 减少 $0.55\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{月}$, HI 增加 $0.51\text{mm}/\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{月}$ 。

2.2 中国亚热带常绿阔叶林优势种及常见种的水热分布类群

利用温暖指数和湿润指数划分了优势种及常见种的水热分布类群,如表2。从整体水平来看,亚热带常绿阔叶林优势种及常见种都属于湿润或潮湿、高温水热分布类群,但仅就亚热带常绿阔叶林区域来说,又将其分为高、中、低等几类。

按表2可将优势种及常见种划分为以下温暖指数-湿润指数分布类群:

- I 低温半湿润、湿润型 WI 100~140 HI 9~15
 - I 1 低温半湿润型 WI 100~120 HI 11~15
 - I 2 低温湿润型 WI 120~140 HI 9~12
- II 中温湿润型 WI 140~180 HI 8~12
 - II 1 低中温湿润型 WI 140~160 HI 9~12
 - II 2 高中温湿润型 WI 160~180 HI 8~11
- III 高温湿润型 WI 180~210 HI 8~11

按照寒冷指数和湿润指数所划分的水热分布类群与以上分类基本一致,由此综合可将中国亚热带常绿阔叶林优势种和常见种划分为以下5个Kira水热分布类群:

G1 低温半湿润型 峨眉栲、瓦山栲、刺叶栲、匙叶栲、云南樟、山楠。这些树种大都分布于西部亚高山半湿润常绿阔叶林或山地常绿落叶阔叶林混交林中,所处海拔高度较高,热量指标温暖指数和寒冷指数值较低,湿润指数较小。

G2 低温湿润型 水青冈、元江栲、高山栲、包石栲、滇石栲、滇青冈、黄毛青冈、宜昌润楠、桢楠。这些树种大都分布于西部半湿润常绿阔叶林的北部亚地带或山地常绿阔叶林中,所处海拔高度较高,热量指

表 1 中国亚热带常绿阔叶林优势种及常见种的 Kira 水热指标分布情况

编号 No.	种 名 Species	气象站数 Stations	指标 Index	平均值 Mean	标准差 S D	最适范围 Optimal range		上 限 Upper limit		北 界 North limit	
						WI	HI	平均值 Mean	标准差 S D	平均值 Mean	标准差 S D
1	杨梅 <i>Myrica rubra</i>	231(163)	WI CI HI	157.48 0.46 10.49	31.65 1.18 6.18	120.22 194.75	13.20 7.42	79.56 -10.06	1.47	128.43 -4.07	0.09 0.52
2	毛杨梅 <i>M. esculenta</i>	81(8)	WI CI HI	155.89 -0.42 9.95	36.39 1.44 9.52	113.06 198.73	18.95 11.19	73.15 -9.58	2.11	3.73	
3	少叶黄杞 <i>Engelhardtia fenzlii</i>	111(7)	WI CI HI	163.43 -0.05 10.61	22.51 0.20 3.37	136.92 189.93	9.26 3.46	103.16 -4.66	1.03	1.15	
4	黄杞 <i>E. roxburghiana</i>	193(22)	WI CI WI CI WI CI HI	166.57 -0.18 10.57 172.56 -0.39 8.28 144.44	31.51 0.71 6.73 47.86 1.51 2.47 3.10	129.48 203.66	30.46 7.70	102.53 -6.25	3.38	2.57	
5	毛叶黄杞 <i>E. colebrookiana</i>	51(6)	WI CI HI	172.56 -0.39 10.13	47.86 1.51 5.92	116.23 228.90	15.74 3.20	90.03 -3.23	1.75	1.07	
6	化香 <i>Platyneris vrbolavica</i>	288(2123)	WI CI HI	144.44 -1.99 10.13	4.30 4.30 5.92	107.83 181.05	15.59 10.26	69.04 -15.04	1.73	3.42	114.08 8.17 1.35 1.32
7	长柄水青冈 <i>Fagus longipetiolata</i>	22(1810)	WI CI HI	151.13 -0.72 10.11	28.38 1.93 6.41	117.72 184.54	17.35 9.16	75.61 -13.66	1.93	3.05	107.52 -7.02 1.39 1.23
8	小青冈 <i>F. engleriana</i>	85(1112)	WI CI HI	133.86 1.66 11.34	17.98 2.81 9.55	112.69 155.02	16.91 8.18	69.48 -17.75	1.88	2.73	110.90 -6.81 1.52 1.13
9	亮叶水青冈 <i>F. lucida</i>	95(112)	WI CI HI	141.41 -0.59 11.88	15.21 1.36 9.19	123.50 159.32	17.18 8.40	67.90 -17.93	1.91	2.80	121.15 5.40 0.48 0.20
10	甜槠 <i>Castanopsis eyrei</i>	115(132)	WI CI HI	153.68 -0.36 11.01	22.25 0.91 3.68	127.49 179.87	10.20 1.85	87.98 9.37	1.13	1.62	127.15 -4.05 0.15 0.25
11	栲树 <i>C. fargesii</i>	203(195)	WI CI HI	152.69 -0.45 10.78	26.58 1.10 6.66	121.40 183.98	13.85 2.89	99.48 -1.71	1.54	0.96	134.06 -2.14 0.84 0.58
12	米槠 <i>C. carlesii</i>	181(103)	WI	165.67	29.79	130.60 200.74	9.99	100.41	1.11	120.13	0.09 0.01

续表 1

编号 No.	种名 Species	气象站数 Stations	指标 Index	平均值 Mean	标准差 S D	最适范围 Optimal range	上限 Upper limit			北界 North limit		
							平均值 Mean	标准差 S D	SD/3	平均值 Mean	标准差 S D	SD/3
13	苦槠 <i>C. xerophylla</i>	138(74)	CI HI WI	-0.32 10.27 142.16	0.82 3.06 12.00		-6.19 83.79 -8.16	3.34 15.34 4.36	1.11 1.70 1.45	-3.57 141.60 0.00	0.19 4.93 0.00	
14	鹿角栲 <i>C. lamontii</i>	102(109)	CI HI WI	-0.03 9.77 169.52	0.17 2.60 23.72	141.59	197.45	12.81	1.42	129.20	3.08	
15	南岭栲 <i>C. fordii</i>	86(2)	CI HI WI	-0.02 10.49 174.13	0.13 3.18 30.64	143.40	193.38	6.05	0.67	129.20	0.94	
16	罗浮栲 <i>C. fabri</i>	156(3)	CI HI WI	-0.04 10.11 151.72	0.18 3.25 20.79	138.06	210.20	8.48	0.94	129.20	0.91	
17	钩栲 <i>C. tibetana</i>	160(7)	CI HI WI	-0.02 9.61 193.76	0.15 3.20 22.13	127.21	176.19	11.83	1.31	129.20	2.06	
18	闽粤栲 <i>C. fissa</i>	105(16)	CI HI WI	-0.02 10.13 180.03	0.15 2.87 27.03	148.22	211.85	3.38	1.13	129.20	0.91	
19	赤枝栲 <i>C. karwaktmi</i>	43(2)	CI HI WI	0.00 10.13 162.40	0.00 2.87 26.80	167.71	219.81	4.50	0.23	129.20	1.50	
20	乌帽栲 <i>C. jucunda</i>	166(1)	CI HI WI	-0.20 10.08 181.50	0.49 0.09 29.08	130.86	193.95	0.00	0.00	129.20	0.00	
21	刺栲 <i>C. hyparr</i>	102(121)	CI HI WI	-0.00 8.71 143.48	0.03 2.32 23.71	147.27	215.73	2.69	1.14	129.20	0.00	
22	西南米栲 <i>C. carlesii var. sp.</i>	61(2)	CI HI WI	-0.41 10.70 108.51	1.10 11.05 40.72	115.57	171.39	0.70	0.57	129.20	0.23	
23	峨眉栲 <i>C. platyacantha</i>	54(10)	CI HI WI	5.88 12.45 123.75	11.01 12.34 46.45	60.58	156.44	14.99	1.67	129.20	0.31	
24	元江栲 <i>C. orthacantha</i>	58(6)	CI HI WI	123.75 46.45 52.68	46.45 12.34 24.76	69.07	178.43	24.76	2.75	129.20	0.31	

25	高山栲 <i>C. delavayi</i>	50(8)	CI HI WI	-3.76 11.50 132.58	9.71 11.88 44.19	80.57 184.60	184.60 69.08 22.74	-17.93 14.45	4.82	2.53	0.93
			CJ HI	-1.97 9.30	6.17 3.49		-9.84 12.42	4.14			
26	瓦山栲 <i>C. cerurantha</i>	73(73)	WI CI HI	117.35 -4.81 11.71	44.68 9.85 10.78	64.76 169.94	62.59 23.36 2.60	2.60	46.83 8.34	0.93	2.26
			WI	158.76	26.06	128.09 189.43	108.04 9.73	1.08	129.85 3.12	0.35	0.30
			CI	-0.39	0.90		-4.08 2.93	0.98	-3.33 0.90		
			HI	10.33	3.35						
28	硬斗石栲 <i>L. hancei</i>	253(164)	WI CI	158.03 -0.61	33.42 2.87	118.69 197.36	68.44 17.38	1.93	129.60 2.02	0.22	0.23
			HI	10.34	6.05		-14.57 9.17	3.06	-3.18 0.70		
29	多穗石栲 <i>L. polystachyus</i>	238(184)	WI CI	154.73 -0.61	31.20 2.95	118.01 191.46	76.89 20.18	2.24	129.60 2.02	0.22	0.23
			HI	10.56	6.37		-11.66 8.65	2.88	-3.18 0.70		
30	东南石栲 <i>L. harlandii</i>	191(143)	WI CI	158.74 -0.32	26.00 0.78	128.12 189.35	98.87 11.92	1.66	130.03 2.17	0.24	0.24
			HI	10.48	3.50		-6.74 4.68	1.56	-3.00 0.73		
31	包石栲 <i>L. teisocarpus</i>	126(1810)	WI CI	135.19 -1.31	22.44 3.56	108.77 161.60	74.93 14.07	1.56	109.48 15.00	1.67	1.34
			HI	11.47	8.13		-12.17 8.51	2.84	-6.60 4.02		
32	溪石栲 <i>L. dealbatus</i>	57(7)	WI CI	126.43 -3.07	44.84 8.14	73.65 179.21	55.46 23.91	2.66			
			HI	11.27	11.49		-16.21 14.02	4.67			
33	乌冈栲 <i>Quercus phillyrenoides</i>	217(2118)	WI CI	146.86 -2.17	38.47 6.32	101.58 192.14	87.74 21.19	2.35	101.94 28.52	3.17	2.51
			HI	10.99	6.94		-9.34 9.12	3.04	-10.73 7.54		
34	巴东栲 <i>Q. engleriana</i>	164(2015)	WI CI	143.51 3.05	44.25 7.81	91.42 195.59	62.98 18.35	2.04	95.88 27.70	3.08	2.49
			HI	11.64	7.89		-16.00 11.28	3.76	-12.17 7.48		
35	刺叶栲 <i>Q. spinosa</i>	103(1121)	WI CI	116.98 -8.81	52.38 17.21	55.33 178.63	46.37 16.77	1.86	67.48 40.64	4.52	8.28
			HI	14.21	12.80		-27.49 14.29	4.76	-28.90 24.84		
36	匙叶栲 <i>Q. spathulata</i>	74(825)	WI CI	100.87 -12.13	44.35 19.16	48.61 108.61	40.39 17.78	1.42	77.77 11.33	4.59	8.03
			HI	14.88	14.90		31.78 10.49	3.50	-24.70 24.10		
37	云山青冈 <i>Cyclobalanopsis nubum</i>	192(121)	WI CI	158.93 0.26	25.65 0.71	128.74 189.12	81.87 11.73	1.30	128.50 0.00	0.00	0.00
			CI				-10.83 4.52	1.51	-3.30 0.00		

[2]

50	木莲 <i>Manglietia fordiana</i>	182(14)	HI 9.83 WI 161.04 CI -0.24	3.09 28.90 0.73	127.01 195.06 73.02	12.59 12.59 -12.15	1.38 1.38 6.52	2.17		
51	柱南木莲 <i>M. zhangii</i>	41(1)	HI 10.29 WI 180.87 CI -0.02	3.21 22.13 0.08	154.46 207.27 139.30	0.00 0.00 -0.20	0.00 0.00 0.00	0.00		
52	红花木莲 <i>M. insignis</i>	33(3)	HI 9.32 WI 161.87 CI -0.07	2.57 25.65 0.26	131.67 192.06 63.73	13.29 13.29 -8.67	1.48 1.48 5.43	1.81		
53	黄丹木姜子 <i>Litsea elongata</i>	242(15.5)	HI 9.22 WI 157.15 CI -0.42	3.09 29.72 1.07	122.17 192.14 70.88	10.50 10.50 -13.25	1.17 1.17 5.19	1.73	127.92 -4.06	1.06 0.62
54	豹皮樟 <i>L. rotundifolia</i> var. <i>obl.</i>	110(6)	HI 10.33 WI 178.17 CI -0.00	6.35 27.62 0.05	145.56 210.68 115.17	10.32 10.32 -2.05	1.15 1.15 1.99	0.66		
55	豹皮樟 <i>L. coreana</i> var. <i>sinerisis</i>	145(14.10)	HI 10.27 WI 144.03 CI -0.72	3.34 17.99 1.40	122.84 165.21 98.86	12.80 12.80 -5.77	1.42 1.42 4.17	1.39	129.52 -4.19	2.93 1.06
56	毛豹皮樟 <i>L. coreana</i> var. <i>lanuginosa</i>	212(14.9)	HI 10.83 WI 153.06 CI -0.50	3.61 24.85 1.16	123.81 182.31 98.31	8.11 8.11 -6.04	0.90 0.90 3.22	1.07	129.44 4.13	3.07 1.13
57	厚壳桂 <i>Cryptocarya chinensis</i>	72(3)	HI 10.51 WI 184.08 CI -0.09	6.56 29.40 0.73	149.17 218.69 80.77	24.07 24.07 -9.17	2.67 2.67 7.10	2.37		
58	丛花厚壳桂 <i>C. densiflora</i>	63(1)	HI 10.36 WI 192.01 CI 0.00	10.07 23.65 0.00	164.17 219.85 120.80	0.00 0.00 0.00	0.00 0.00 0.00	0.00		
59	黄果厚壳桂 <i>C. conzania</i>	58(1)	HI 8.71 WI 197.71 CI 0.00	2.52 21.57 0.00	172.32 223.09 135.90	0.00 0.00 0.00	0.00 0.00 0.00	0.00		
60	浙江新木姜子 <i>Neolitsea aurata</i> var. <i>che.</i>	80(5)	HI 8.89 WI 149.58 CI 0.43	2.04 16.01 0.83	130.73 168.12 96.02	11.65 11.65 6.68	1.29 1.29 4.86	1.62		
61	藤叶新木姜子 <i>N. umferfolia</i>	111(9.18)	HI 10.81 WI 141.62 CI 2.12	2.81 27.33 5.05	109.45 173.79 75.20	10.59 10.59 -13.86	1.18 1.18 3.98	1.33	107.30 -10.72	20.49 7.85
62	新木姜子 <i>N. aurata</i>	118(8)	HI 10.52 WI 165.16 CI -0.29	8.72 30.35 0.99	129.43 200.89 74.64	8.92 8.92 -9.13	0.99 0.99 5.95	1.98		

续表 1

编号 No.	种名 Species	气象站数 Stations	指标 Index	平均值 Mean	标准差 S D	最近范围 Optimal range	上 限 Upper limit			北 界 North limit		
							平均值 Mean	标准差 S D	S D/9	平均值 Mean	标准差 S D	S D/3
63	黑壳楠 <i>Lindera megaphylla</i>	221(24 11)	HI WI CI III	10.70 147.57 -0.82 10.30	8.18 27.99 2.32 6.51	114.62 180.52	91.97 17.06	1.90	106.19 22.65	2.52	2.68	2.99
64	香叶树 <i>L. communis</i>	272(37 12)	WI CI HI	146.89 -1.86 10.55	38.13 6.35 6.43	102.01 191.77	108.41 21.40	2.38	96.73 24.02	2.67	1.82	3.07
65	樟 <i>Cinnamomum camphora</i>	278(25 9)	WI CI HI	153.82 -0.67 10.12	31.79 1.48 5.93	116.41 191.24	112.05 12.97	1.44	126.12 4.14	0.16	1.12	0.21
66	香桂 <i>C. subvenium</i>	256(26)	WI CI HI	154.16 0.45 10.42	32.83 1.48 6.12	115.51 192.81	98.22 14.85	1.65	128.90 2.39	0.27	1.61	0.35
67	浙江樟 <i>C. chekiangense</i>	97(6 9)	WI CI HI	146.10 -0.80 10.79	17.24 136 2.71	125.81 166.40	107.97 16.28	1.81	128.90 2.39	0.27	1.44	0.35
68	云南樟 <i>C. glanduliferum</i>	59(13)	WI CI HI	118.57 -4.13 11.94	45.96 9.74 11.73	64.48 172.67	64.99 20.13	2.24	128.90 2.39	0.27	3.52	0.35
69	阴香 <i>C. burmanni</i>	137(5)	WI CI HI	173.04 -0.09 9.23	33.61 0.44 2.70	133.47 212.61	105.02 4.25	0.47	114.62 13.82	1.54	0.50	1.52
70	红楠 <i>Machilus thunbergii</i>	193(8 6)	WI CI HI	157.20 -0.60 10.61	25.63 1.91 3.18	127.03 187.37	91.45 9.90	1.10	114.62 13.82	1.54	1.76	1.52
71	薄叶润楠 <i>M. leptophylla</i>	143(9 8)	WI CI HI	150.84 -0.47 10.64	18.56 0.95 3.13	128.99 172.70	89.17 8.76	0.97	130.53 3.19	0.35	1.47	0.30
72	宜昌润楠 <i>M. ichangensis</i>	60(10 13)	WI CI III	124.69 -4.02 11.11	29.92 8.44 11.47	89.47 159.90	91.78 7.20	0.80	95.59 25.21	2.80	1.50	3.57
73	紫楠 <i>Phoebe sheareri</i>	193(15 10)	WI CI HI	154.97 -0.46 10.66	24.93 1.00 6.66	125.62 184.32	99.99 11.48	1.28	124.84 3.68	0.41	1.25	0.28
74	闽楠 <i>P. hainanensis</i>	123(11)	WI CI	157.63 -0.17	21.06 0.62	132.83 182.42	103.99 10.95	1.22	124.84 3.68	0.41	1.17	0.28

75	山楠 <i>P. chinensis</i>	62(12 15)	HI 10.99 WI 119.94 CI -3.83	3.76 29.92 7.00	81.72 155.16 83.58 -8.77	17.45 17.45 8.01	1.94	100.51 -10.73	26.61 10.54	2.67	2.96	3.51
76	椴楠 <i>P. zikemian</i>	45(6 2)	HI 11.08 WI 136.46 CI -0.69	11.17 17.45 1.50	115.92 157.00 76.28 -11.72	12.56 12.56 5.35	1.40	117.70 -1.30	0.30 0.20	1.78	0.03	0.07
77	樟木 <i>Sassafras tzumu</i>	230(20 9)	HI 11.55 WI 151.40 CI 0.53	13.01 26.94 1.25	119.69 183.12 89.97 7.18	15.75 15.75 5.01	1.75	126.67 -3.33	5.31 1.30	1.67	0.59	0.43
78	大头茶 <i>Gordonia arillata</i>	16(2)	HI 10.47 WI 204.97 CI 0.00	6.35 20.78 0.00	180.50 229.44 56.05 -18.05	3.45 3.45 1.75	0.38	0.58				
79	四川大头茶 <i>G. acuminata</i>	113(6)	HI 8.84 WI 162.13 CI -0.05	2.52 33.77 0.22	122.38 201.88 100.50 -3.60	9.69 9.69 2.05	1.08	0.68				
80	厚皮香 <i>Ternstroemia gymnanthera</i>	249(17 2)	HI 160.45 CI -0.31	34.33 1.04	120.04 200.86 93.05 -6.78	17.63 17.63 4.96	1.96	136.15 -1.65	7.95 1.65	1.65	0.88	0.55
81	黄瑞木 <i>Adiantum malleum</i>	138(7)	HI 10.34 WI 166.57 CI 0.11	6.19 25.72 0.37	136.29 196.85 102.71 5.23	8.56 8.56 3.12	0.95	1.01				
82	杨桐 <i>Yeyera japonica</i>	222(17 8)	HI 10.80 WI 155.50 CI -0.43	3.18 25.98 1.02	121.91 186.08 94.91 -6.33	11.60 11.60 2.90	1.29	130.71 -3.50	3.40 0.83	0.97	0.38	0.28
83	木荷 <i>Schima superba</i>	203(11 3)	HI 10.52 WI 164.56 CI -0.32	6.44 32.36 0.80	126.47 202.64 75.70 14.05	9.21 9.21 5.74	1.02	1.91	126.43 0.09	1.91	0.01	0.06
84	银木荷 <i>S. argentea</i>	81(13)	HI 10.34 WI 140.67 CI -2.50	3.52 43.49 8.39	89.18 191.86 60.74 -16.54	20.71 20.71 11.71	2.30	3.90				
85	枫香 <i>Liquidambar formicaria</i>	331(24 3/)	HI 11.66 WI 119.02 CI -2.16	10.26 39.23 6.19	102.84 195.19 99.02 -6.32	10.21 10.21 4.74	1.13	111.67 -9.89	22.56 7.25	1.58	2.51	2.42
86	缺萼枫香 <i>L. aialyaina</i>	132(11 3)	HI 10.07 WI 153.23 CI 0.33	6.13 19.07 0.85	130.78 175.68 82.94 -10.93	8.32 8.32 1.50	0.92	1.50	128.43 0.09	1.50	0.01	0.06
87	蕈树 <i>A. chinensis</i>	101(6)	HI 11.03 WI 163.93 CI -0.02	3.81 20.59 0.08	139.69 188.17 97.15 -5.12	11.31 11.31 4.27	1.26	1.42				
88	细柄蕈树 <i>Altingia gracilipes</i>	38(2)	HI 10.50 WI 165.44	3.42 19.51	142.47 188.11 103.85 4.95	4.95	0.55					

续表 1

编号 No.	种 名 Species	气象站数 Stations	指标 Index	平均值 Mean	标准差 S.D.	最适范围 Optimal range	上 限 Upper limit			北 界 North limit			
							平均值 Mean	标准差 S.D.	S.D./9	平均值 Mean	标准差 S.D.	S.D./3	
89	杨梅叶蚊母树 <i>Dactyloctenium aegyptium</i>	175(144)	CI HI WI	0.00 10.38 155.52	0.00 3.16 24.38	126.82	184.22	104.01	11.76	1.31	128.45	0.09	0.01
90	大果马蹄苘 <i>Lebecklandia tonkinensis</i>	94(2)	CI HI WI	-0.37 10.33 186.98	0.84 3.17 27.85	154.19	219.77	108.35	11.55	1.28	3.88	0.56	0.19
91	虎皮楠 <i>Daphniphyllum oldhamii</i>	211(122)	CI HI WI	-0.00 8.91 157.74	0.03 2.59 26.51	126.54	188.95	67.26	15.07	1.67	136.15	7.95	0.88
92	交让木 <i>D. acropetalum</i>	223(125)	CI HI WI	0.31 10.68 157.30	0.84 6.56 26.72	125.85	188.70	74.02	10.35	1.15	1.65	1.65	0.55
93	杜英 <i>Elaeocarpus decipiens</i>	113(5)	CI HI WI	-0.36 10.56 163.19	0.94 6.13 24.88	133.91	192.48	114.36	13.23	1.47	132.72	6.53	0.73
94	野豆 <i>E. japonicus</i>	202(16)	CI HI WI	0.22 10.46 158.39	0.60 2.56 26.62	127.05	189.73	100.99	14.15	1.57	1.16		
95	猴欢喜 <i>Stounea sinensis</i>	179(9)	CI HI WI	-0.26 10.45 160.95	0.72 6.55 26.32	129.97	191.93	96.98	15.08	1.68			
96	树参 <i>Dendropanax dentiger</i>	248(153)	CI HI WI	0.18 10.59 154.86	0.63 6.93 34.09	114.73	191.99	87.57	8.71	0.97	128.13	1.77	0.20
97	鹅掌柴 <i>Schefflera octophylla</i>	111(7)	CI HI WI	-0.64 10.41 180.38	2.95 6.11 29.96	145.11	215.65	69.60	17.83	1.98	-4.23	0.66	0.22
98	红皮树 <i>Styrax suberifolius</i>	239(163)	CI HI WI	-0.00 9.85 163.92	0.04 3.31 32.01	126.24	201.60	110.02	8.33	0.93	126.60	12.59	1.10
99	芬芳安息香 <i>S. odoratissima</i>	143(95)	CI HI WI	-0.24 10.33 153.69	0.75 6.32 20.78	129.22	178.15	74.26	6.19	0.69	-0.87	0.63	0.21
100	冬青 <i>Ilex burpurea</i>	248(15)	CI HI WI	-0.39 10.71 159.76	0.93 3.07 30.76	123.54	195.97	111.21	16.31	1.81	126.97	5.11	0.57

[-]

101	宽叶冬青 <i>I. latifolia</i>	222(20)	CI III	-0.94 10.29	1.19 6.20	125.55 188.45	103.77 14.10	2.67	0.89	3.93	1.90	0.63
			WI	157.00	26.71				1.57	129.87	2.87	0.32
			CI	0.39	1.00		-1.65	3.13	1.04	-3.50	0.96	0.32
			HI	10.54	6.17							
102	香冬青 <i>I. suaveolens</i>	187(14)	WI	154.61	22.97	127.57	181.65	20.09	2.23			
			CI	-0.28	0.74		6.15	5.17	1.72			
			III	10.78	6.91							
103	榕叶冬青 <i>I. finoides</i>	195(11)	WI	168.06	32.25	130.09	206.02	14.42	1.60			
			CI	0.16	0.60		-5.22	3.45	1.15			
			HI	10.26	3.63							
104	江南冬青 <i>I. wilsonii</i>	152(16)	WI	145.13	18.85	122.94	167.32	93.11	0.92			
			CI	-0.53	1.11		-6.85	2.92	0.97			
			III	11.41	7.52							
105	鹿角杜鹃 <i>Rhododendron latoucheae</i>	113(9)	WI	151.33	17.50	133.72	174.93	76.11	0.59			
			CI	-0.23	0.58		-13.54	5.41	1.80			
			HI	11.10	3.24							
106	马褂花 <i>R. ovatum</i>	168(8 11)	WI	153.67	23.23	126.32	181.02	76.05	0.98	131.07	3.04	0.34
			CI	-0.50	0.99		13.38	6.17	2.06	-3.29	0.95	0.32
			HI	10.29	2.95							
107	满山红 <i>R. mariesii</i>	248(14 29)	WI	146.12	27.14	114.17	178.08	62.65	1.26	116.52	19.85	2.21
			CI	-1.51	3.48		-19.64	7.06	2.35	7.34	5.71	1.90
			HI	10.32	6.23							
108	云锦杜鹃 <i>R. fortunei</i>	114(8)	WI	153.83	18.18	132.43	175.23	64.13	0.51			
			CI	-0.33	0.84		18.61	6.31	2.10			
			III	10.92	3.14							
109	乌饭树 <i>Vaccinium bracteatum</i>	268(15 8)	WI	157.62	35.03	116.38	198.85	66.75	0.82	2.95	0.33	0.26
			CI	-0.51	1.33		-15.75	7.76	2.59	3.89	0.78	
			HI	10.17	6.04							
110	薄叶山矾 <i>Symplocos anomala</i>	244(13 5)	WI	162.29	31.88	124.75	199.82	66.92	0.79	128.24	1.38	0.15
			CI	-0.35	0.95		16.48	7.86	2.62	-4.02	0.58	0.19
			III	10.35	6.24							
111	山矾 <i>S. vumadula</i>	250(15 5)	WI	157.10	32.96	118.60	196.20	83.67	1.21	128.24	1.38	0.15
			CI	0.46	1.17		-9.41	5.28	1.75	4.02	0.58	0.91
			HI	10.38	6.15							
112	老鹳草 <i>S. stellaris</i>	195(15 1)	WI	152.98	23.89	124.85	181.10	97.95	1.12	127.78	1.14	0.13
			CI	-0.42	1.00		5.99	2.92	0.97	-3.88	0.56	0.19
			HI	10.87	6.77							
平均			WI			87.29	19.67			119.63	17.08	
Mean			CI			-9.10	6.05			6.17	5.44	

* 树种分布范围的气象站数(分布上限和北界,或上限的气象站数)

Meteorological station number of species distributional range (station number of upper limit and north limit, or upper limit)

表2 中国亚热带常绿阔叶林优势种及常见种的水热分布类群(Kira 温暖指数-Xu 湿润指数)

Table 2 Groups of water-temperature distribution of dominants and companions for subtropical evergreen broadleaved forest in China(Kira's *WI*-Xu's *HI*)

	温度指数等级(mm/°C·月) Class of <i>HI</i>							合计 Total
	8~9	9~10	10~11	11~12	12~13	13~14	14~15	
100~110					23		36	2
110~120				26 68 75			35	4
120~130				24 32 47 72				4
130~140		25	45	8 31 76				5
140~150			6 13 22 33 39	9 34 40 46				19
温暖指数等级 ℃·月 Class of <i>WI</i>			55 60 61 63 64	84 104				
			67 85 107					
	150~160	2	1 7 11 17 27 28	10 86 105				41
			29 30 37 38 41 42					
			43 53 56 65 66 70					
		71 73 74 77 82 89						
		91 92 94 96 99 100						
		101 102 106 108						
		109 111 112						
160~170	79	14 52	3 4 12 15 20 44 50					21
			62 80 81 83 87 88					
			93 95 98 103 110					
170~180	5	49 69	16 48 54					6
180~190	21 90	18 51 97	57					6
190~200	58 59		19					3
200~210	78							1
种合计数 Total	7	9	74	19	1	0	2	112

标值稍低于G1类群,而湿润指数也较小,但高于G1。

G3 低中温湿润型 杨梅,毛杨梅,化香、长柄水青冈、亮叶水青冈、甜槠、栲树、苦槠、钩栲、西南米槠、石栎、硬斗石栎、多穗石栎、东南石栎、乌冈栎、巴东栎、云山青冈、细叶青冈、青冈、多脉青冈、小叶青冈、赤皮青冈、大叶青冈、曼青冈、黄丹木姜子、豹皮樟、毛豹皮樟、浙江新木姜子、蕨叶新木姜子、黑壳楠、香叶树、樟、香桂、浙江樟、红楠、薄叶润楠、紫楠、闽楠、樟木、杨桐、银木荷、枫香、缺萼枫香、杨梅叶蚊母树、虎皮楠、交让木、薯豆、树参、芬芳安息香、冬青、宽叶冬青、香冬青、江南冬青、鹿角杜鹃、马银花、满山红、云锦杜鹃、乌饭树、山矾、老鼠矢。这些树种大都分布在东部湿润常绿阔叶林中部和北部亚地带,有些则是在整个常绿阔叶林中广泛存在的小乔木和灌木种,热量条件和水分条件都较好,温暖指数140~160,寒冷指数稍小于0,温度指数值较高。

G4 高中温湿润型 少叶黄杞、黄杞、毛叶黄杞、米槠、鹿角栲、南岭栲、罗浮栲、乌帽栲、福建青冈、深山含笑、金叶含笑、木莲、红花木莲、豺皮樟、新木姜子、阴香、四川大头茶、厚皮香、黄瑞木、木荷、蕈树、细柄蕈树、杜英、猴欢喜、红皮树、榕叶冬青、薄叶山矾。这些树种大都分布在东部湿润常绿阔叶林的中部和南部亚地带,热量条件和水分条件都好于类群G3,温暖指数160~180,寒冷指数几乎接近于0,温度指数值都较高。

G5 高温湿润型 闽粤栲、青钩栲、刺栲、桂南木莲、厚壳桂、丛花厚壳桂、黄果厚壳桂、大头茶、大果马蹄荷、鹅掌柴。这些树种大都分布在东部湿润常绿阔叶林的南部亚地带,热量条件和水分条件都相当好,温暖指数大于180甚至超过200,寒冷指数为0,说明冬季气温均高于0℃,湿润指数值很高,降水丰沛。

在以上优势种和常见种的水热分布类群中,皆以中温湿润型占绝大多数,说明优势种和常见种的水热特征是和常绿阔叶林分布区的气候特征一致的。

当然,大的植被类型或植物群落类型的地理分布不仅受到大的气候条件的影响和反馈,同时也受到地形、土壤、人类经济活动及历史地理因素的制约,而组成群落的小乔木、灌木优势种和常见种的分布,则更多地受到群落中的小生境、种内种间关系等的影响。因此,本研究也只是在植被类型生态地理分布的背景上进行的种群水平的宏观探讨,而尚未考虑到更多更复杂的因素的制约,这有待于以后进一步的探索和研究。

2.3 中国亚热带常绿阔叶林优势种及常见种的分布界限

Kira^[2]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。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,那么它们的标准差就越低。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(年平均气温 $>5^{\circ}\text{C}$)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,以便进行比较。

由此计算了中国亚热带常绿阔叶林优势种和常见种分布上限的温暖指数和寒冷指数,及一些分布到亚热带北缘的树种的热量指标,如表1。

Kira^[2,5]指出,如果一个指标的变异性最小,那么它对森林分布界限的限制最显著,并可用该指标的标准差来表示变异的程度。对常绿阔叶林来说,从表1中可以看出,树种分布上限和北界CI的标准差均为最小,可见限制常绿阔叶林树种向上和向北分布的最显著因子是冬季几个月的寒冷指数值而不是温暖指数值。不同优势种和常见种分布的上限和北界的热量指标是不同的,与其分布的地理位置和海拔高度密切相关。从平均值来看,112个树种的上限寒冷指数平均为 $-9.1^{\circ}\text{C}\cdot\text{月}$,而日本^[2]、朝鲜^[7]常绿阔叶林,为 $-6.7^{\circ}\text{C}\cdot\text{月}$,比洪必恭等^[17]的计算值 $-4.9^{\circ}\text{C}\cdot\text{月}$ 要低,而比日本、朝鲜 $-10\sim-15^{\circ}\text{C}\cdot\text{月}$ 要高,其原因可能是复杂多样的。

从表中还可以看出,树种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,以及由于山地温差较小,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 结论

利用 Kira 的温暖指数(WI)和寒冷指数(CI)及徐文铎从中变化出的湿润指数(HI)计算了中国亚热带常绿阔叶林112个优势种及常见种的水热指标值,综合温暖指数和寒冷指数对湿润指数划分了5个优势种及常见种的 Kira 水热指标分布类群,分别为 G1低温半湿润型, G2低温湿润型, G3低中温湿润型, G4高中温湿润型, G5高温湿润型。

计算了中国亚热带常绿阔叶林优势种和常见种分布上限和下限的温暖指数和寒冷指数,及一些分布到亚热带北缘的树种的热量指标。由此探讨了限制常绿阔叶林树种向上和向北分布的寒冷指数特征,并与国内外其他学者的计算结果进行了比较。

参 考 文 献

- 1 Kira T. *A new classification of climate in eastern Asia as the basis for agricultural geography*. Horticultural Institute, Kyoto Univ. Kyoto, 1945, 1~23
- 2 Kira T. *Terrestrial Ecosystem-an introduction*. Kyoritsu Shuppan, Tokyo, 1976
- 3 Kira T. A climatological interpretation of Japanese vegetation zones. In: Miyawaki A and Tuxen R (eds.) *Vegetation Science and Environmental protection*. Maruzen, Tokyo, 1977, 21~30
- 4 Kira T. Forest ecosystems of East and Southeast Asia in global perspective. *Eco. Res.* 1991, 6: 185~200
- 5 Numata M. The relationship between vegetation zones and climatic zones. *Jpn. J. Biometeor.* 1984, 21(1): 1~10
- 6 Hattori T and Nakaxishi S. On the distributional of the lucidophyllous forest in the Japanese Archipelago. *The Botanical Magazine* 1965, 98: 317~333

- 7 Yim Y J. Distribution of forest vegetation and climate in the Korean peninsula. II. Distribution of tree species along the thermal gradient. *Jap. J. Ecol.* 1977, 27(3):177~189
- 8 Federico F and Pignatu S. The warmth index of Kira for the interpretation of vegetation belts in Italy and SW. Australia two regions with Mediterranean type bioclimates. *Vegetatio*. 1990, 93:91~99
- 9 徐文铎, 林长青. 长白山植被垂直分布与气温指数的关系初步研究. *森林生态系统研究*, 1982, (2):88~95
- 10 徐文铎. 东北主要树种的分布与热量关系的初步研究. *东北林学院学报*, 1982, 14(1):1~10
- 11 徐文铎. 东北地带性植被建群种及常见种的分布与水热关系的研究. *植物学报*, 25(3):264~274
- 12 徐文铎. 中国东北主要植被类型的分布与气候的关系. *植物生态学与地植物学学报*, 1986, 10(4):254~263
- 13 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
- 14 徐文铎, 常禹. 中国东北地带性顶极植被类型及其预测判别模型——动态地植物学说的继承与发展(1). *应用生态学报*, 1992, 3(3):215~222
- 15 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*, 1982, 1(1):105~111
- 16 洪必恭, 安树青. 中国水青冈属植物地理分布初探. *植物学报*, 1993, 35(3):229~233
- 17 兆贻之. 浙江省的生态气候. *浙江林学院科技通讯*, 1981, 2:20~32
- 18 王效瑞, 范建华, 汪祥森. “三北”防护林地区主要树种的分布与水、热条件的关系. *生态学杂志*, 1986, 5(1):13~17
- 19 方精云. 我国森林植被带的生态气候学分析. *生态学报*, 1991, 11(4):377~387
- 20 Fang J Y and Yoda K. Climate and vegetation in China (I). Distribution of main vegetation types and thermal climate. *Ecol. Res.* 1989, 4:71~83
- 21 Fang J Y and Yoda K. Climate and vegetation in China (IV). Distribution of tree species along the thermal gradient. *Ecol. Res.* 1990, 5:291~302
- 22 Fang J Y and 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
- 23 方精云. 东亚地区植被气候类型在温度、降水量坐标中的表达. *生态学报*, 1994, 14(3):290~294
- 24 北京气象中心资料室编. 中国地面气候资料(1951~1980). 北京:气象出版社, 1984