

广东省植被潜在生产力的估算及其分布

郭志华* 李琼婵

(华南师范大学地理系, 广州 510631)

摘要 本文应用 Miami 模型和 Thornthwaite 纪念模型, 结合降水量、气温、蒸发量等气候资料, 分别计算了广东省植被的可能净第一性生产力、谷物产量和木材生产量。并根据计算结果, 绘制出植物气候生产力图。结果表明: 广东省植被潜在生产力较大, 因此, 提高作物产量的潜力还很大; 除局部小范围外, 植被潜在生产力由沿海向内陆递减, 并且等值线走向大致与海岸线平行; 沿海的阳江、海丰和内陆的清远、佛冈等地的气候生产力最高, 相反, 粤北、粤东北山区和雷州半岛的生产力最低。

关键词 广东省; 潜在生产力; 净第一性生产力; 迈阿密模型; 桑斯威特纪念模型

EVALUATION AND DISTRIBUTION OF VEGETATION POTENTIAL PRODUCTIVITY IN GUANGDONG PROVINCE

Guo Zhihua Li Qiongchan

(Dep. of Geog., South China Normal University, Guangzhou 510631)

Abstract According to Miami model and Thornthwaite memorial model, the net primary productivity, the outputs of cereals and wood in Guangdong Province were assessed by using data of annual temperature, rainfall and evaporation. Then, plant climatic productivity maps were drawn. The results showed that the vegetation potential productivity in most areas of Guangdong was large, and decreased gradually from the coastland to the inland, and the trend of the isopleth roughly paralld with the coastline except few areas; the highest values were in Haifeng, Yangjiang, Qingyuan and Fogang counties, on the contrary, the lowest in the north and northeast of Guangdong and on Leizhou Peninsula.

Key words Guangdong province; Potential productivity; Net primary productivity; Miami model; Thornthwaite memorial model

生物圈的第一性生产力 (Primary productivity) 是指生产者 (主要是绿色植物) 通过光合作用, 将辐射能转变成有机物的速率; 而净第一性生产力 (Net primary productivity) 是指绿色植物在单位时间和空间内累积光合量与累积呼吸量之差^[1]。植物潜在生产力是绿色植物每年在单位面积上可能生产的有机干物质。它是由气候条件决定的, 相当于净第一性生产力, 即植物总第一性生产力 (GPP) 减去呼吸作用的消耗量和枯落物后的生物量。

本文的资料收集得到地理系杨士弘教授的帮助, 特此致谢。

* 现在中山大学生命科学学院攻读博士学位

1995-10-06 收稿; 1996-05-17 修回

植物合成有机物质是由其本身的生物学特性和环境因子综合作用的结果。而植物的生物学特性, 空气中的氧气、二氧化碳含量和土壤肥力等均较稳定, 相反气候因子则随时空而变化。不同的气候区域, 由于光、热、水条件不同, 其生产力也不同。某一地区植被、土壤、气候处于最佳状态下所达到的最大植物净第一性生产力, 称为植被的气候生产力。估测植被气候生产力, 不但有利于合理利用气候资源, 扬长避短, 充分发挥气候生产潜力, 最大限度提高植物产量, 而且有利于认识自然和保护自然。

德国学者 Lieth 等人于 1972 年第一次根据分布于全球的 966 个点的资料, 对全球的生物生产力进行了估测, 并制出了第一张全球生物生产力模拟图^[2]。此后, Lieth 又与美国的 Whittaker, Golly 及 Box 等人根据生产力与气候变量(如年均温度、年均降水量和蒸发散量等)之间的关系, 以及各种气候变量在地球上的实际分布资料(所用资料点已达 1 230 个), 利用计算机对生物生产力进行了模拟和估算, 并制成了全球的生物生产力图。后来的一些研究者还估算了全球的总第一性生产力及呼吸消耗量, 并分别以不同的纬度地带、不同的洲和不同的国家进行估算和比较, 获得了许多有价值的结论^[3-5]。

本文根据 Lieth 等得出的生产力与气候变量的相关模型, 及广东省各地的气候观测值, 对广东省潜在生产力进行了估算和制图。其所有计算均由作者自编 C 语言程序在微机上运行。

1 广东省的自然条件概况

广东省位于南岭以南, 临南海, 海岸线长(大陆海岸线长 4 300 多公里), 东、北、西三面与内陆省区接壤。地势北高南低, 全境大致向海洋方向倾斜。山地丘陵广大, 约占总面积的三分之二, 台地、平原占三分之一。

北回归线横穿省的中部, 全省为热带-亚热带湿润季风气候, 高温多雨。全省年平均气温 19℃, 一月平均气温约在 8-21℃之间, 七月份气温约在 27-29℃之间, 大致南高北低。其中雷州半岛及附近沿海地区为热带气候, >10℃积温在 8 000℃以上; 而粤北南岭山地为中亚热带气候, >10℃积温 <4 500℃; 在热带和亚热带之间的广大地区为南亚热带气候, >10℃积温在 4 500-8 000℃之间^[6]。全省年平均降水量多在 1 500 mm 以上, 南岭南侧的迎风坡降水在 2 000 mm 以上。降水比较集中, 4-9 月为雨季, 干湿季比较明显。沿海地区每年 5-11 月份常受台风侵袭, 偶见的强寒潮可危害热带作物。

由于水量丰富, 本省河流众多, 河网密布。各河具有流量大, 含沙量小, 汛期长, 水力资源丰富等特点。主要河流有珠江、韩江、漠阳江、鉴江等。

土壤主要为红壤和砖红壤。在珠江三角洲平原地区主要分布着水稻土。粤北地区零散分布着黄壤。粤西与粤东滨海地区主要分布着沙土和盐土。

由于受人类活动的影响, 原生植被保存很少, 多为一些次生植被, 如热带、亚热带草坡和人工植被, 亚热带针叶林和石灰岩植被。本省的地带性植被由南往北依次是热带季雨林, 分布于粤西沿海附近地区; 南亚热带季风常绿阔叶林, 主要分布于热带季雨林以北和怀集、英德、大埔一线以南的广大地区; 亚热带常绿阔叶林, 从怀集、英德、梅县、大埔一线向北分布到本省北部一带, 属于南岭山地常绿阔叶林的一部分^[7]。

2 研究方法

广东省地处热带、亚热带,光、热、水资源丰富,生产潜力大。本文应用与光、热、水有关的预测生产力模型,对广东省植物潜在生产力进行了估算。

2.1 Miami 模型: 用年降水量和年平均温度预测的净第一性生产力^[4,8]

第一性生产力受若干环境条件的制约,在陆地上首先是受温度和有效水分的制约。Lieth(1978年),Zauner(1957年)等人通过不同地带大量的史册资料,研究了生物第一性生产力(NPP)与年平均温度和年平均降水量之间的相关关系,通过分析和计算,建立了它们之间的相关模型,即著名的Miami模型:

$$NPP(T) = 3000 / (1 + e^{(1.315 - 0.119 \cdot T)}) \quad (1)$$

$$NPP(P) = 3000 \cdot (1 - e^{-0.000664 \cdot P}) \quad (2)$$

式中: T 为年平均气温(°C); P 为年平均降水量(mm); e 为自然对数的底数。NPP(T) 和 NPP(P) 分别为以温度和降水量估算的植物干物质产量($\text{g m}^{-2}\text{a}^{-1}$)。

根据 Liebig 的限制因子定律,选取二者中的最低值作为各计算点的生物生产力数据。

2.2 Thornthwaite 纪念模型: 由蒸发散量预测的净第一性生产力^[8]

实际上,植物生产力除受气温、降水量影响外,还与其他气候因素有关,而Miami模型尚未考虑水分流失对生产力的影响,这样其可靠性就受到影响^[8]。蒸发量受太阳辐射、温度、降水量、饱和差、气压、风等一系列气候因素的作用,因而蒸发量能把水热平衡联系在一起,它是一个地区水热状况的综合表现;同时,蒸发散量包括蒸发与蒸腾的总和,而蒸腾与植物光合作用有关。通常蒸腾作用愈强,光合作用也愈强,植物生产力就愈高,因此蒸发散量与植物产量密切相关。所以, Lieth 在 Thornthwaite 研究的基础上,于1972年在Montreal举行的第22届国际地理学大会为纪念 C. W. Thornthwaite 的讨论会上提出由实际蒸发散量预测净第一性生产力的模型,即Montreal模型,后来改称为 C. W. Thornthwaite 纪念模型:

$$NPP(E) = 3000 \cdot (1 - e^{-0.0009695(E-20)}) \quad (3)$$

式中: NPP(E) 是以实际蒸发散量计算得到的植物净第一性生产力($\text{g m}^{-2}\text{a}^{-1}$); e 为自然对数。(1), (2), (3)式中的3000是Lieth经统计得到的地球自然植物在每年每平方米上的最高干物质产量(G); E 是年平均实际蒸发散量(mm),可用Turc公式确定,即:

$$E = 1.05 \cdot P / (1 + (1.05 \cdot P/L)^2) \quad (4)$$

其中, P 为年平均降水量(mm); L 为年平均最大蒸发散量,它是温度 T 的函数, L 与 T 的关系式为: $L = 300 + 25 \cdot T + 0.05 \cdot T^2$ (5)

只有当 $P > 0.316L$ 时, (5)式才适用;若 $P/L < 0.316$ 时,则 $P = E$ 。

用(1)-(3)式所计算的植物生产力均为植物所有的干物质,包括植物地上和地下部分的总和。对于农作物和树木来说,人们关心的是经济产量。如稻麦的籽粒,树木的材积等。植物的经济产量在植物中所占的比重称为系数。不同种类的植物或同一种植物的栽培条件和经济措施不同,其经济产量系数也不同。一般来说,粮食作物的经济产量系数为50%,即由(3)式算得的植物产量乘以50%后,就是由实际蒸发散量所确定的谷物产量 G:

$$G = 0.5 \cdot NPP(E) \quad (6)$$

对于树木, 其经济产量系数平均为 60%。但树木的经济产量不是以重量表示, 而是以材积表示。故利用(3)式算得植物产量 ($g \cdot m^2 \cdot a^{-1}$), 可通过下式换算成材积 ($m^3 \cdot ha^{-1} \cdot a^{-1}$):

$$H = 0.6 \cdot NPP(E) \cdot (1 + Mg) / Wg \quad (7)$$

式中: H 为木材含水量。根据中国主要树种含水量资料, 对 93 个树种统计平均得到单位体积湿材中的含水量与干材容重之比为 1:1, 即 $Mg = 1$; Wg 为湿材单位体积的重量 ($kg \cdot m^{-3}$), 据我国 207 个树种平均每立方米湿材重量 $Wg = 1000 kg \cdot m^{-3}$ [9]。

3 结果和分析

选取广东省 31 个县(市)气象站的 1951-1983 年共 32 年的年平均气温和年平均降水量资料 [10], 以及阳山、翁源、乳源、龙川和罗定 1970-1981 及 1983 年 [10,11] 资料, 代入(1), (2), (3)式中, 分别求得各自所确定的植物净第一性生产力以及由此确定的谷物和木材产量(表 1); 并分别绘出由 Miami 模型和 Thornthwaite 纪念模型所估测的广东省净第一性生产力图(图 1, 2), 以及由年平均实际蒸发散量所确定的木材气候产量图(图 3)。

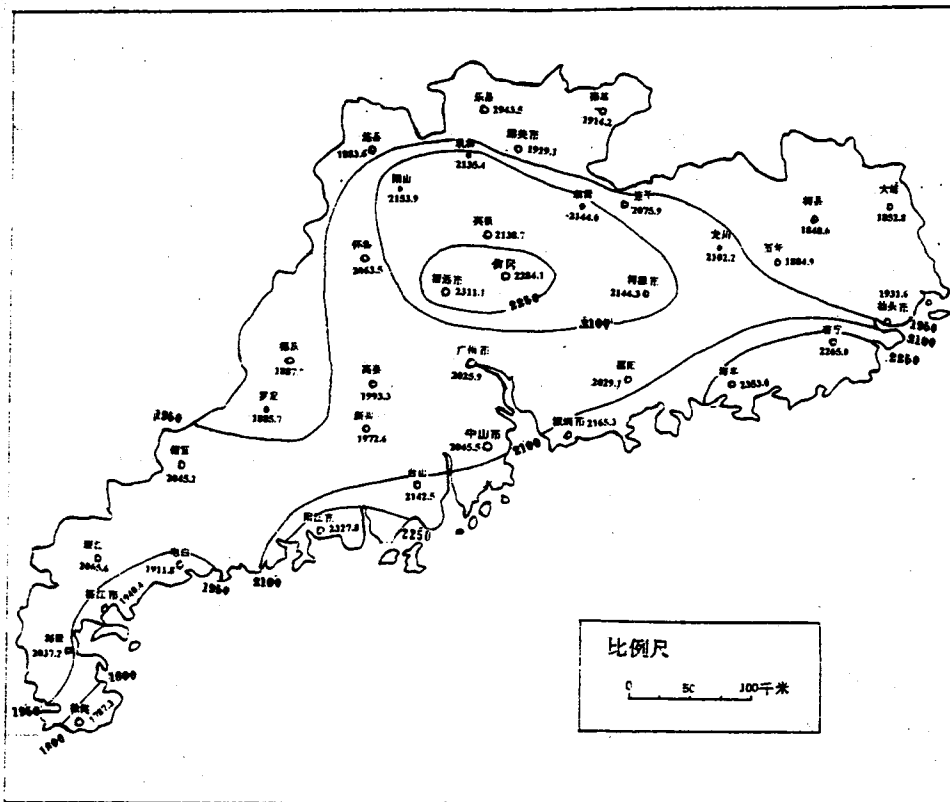


图 1 由温度和降水预测的广东省植物气候生产力 ($g \cdot m^{-2} \cdot a^{-1}$)

Fig. 1 Plant climatic productivity in Guangdong evaluated by temperature and rainfall ($g \cdot m^{-2} \cdot a^{-1}$)

从表1可知:由温度所确定的植物气候产量(全部干物质)平均为 $2\,316.2\text{ g m}^{-2}\text{a}^{-1}$;由降水量所确定的植物产量平均为 $2\,046.1\text{ g m}^{-2}\text{a}^{-1}$,相当于温度产量的88.3%,仅少数地方(佛冈和海丰)的 $\text{NPP(T)} < \text{NPP(P)}$ 。这表明广东省大部分地区的气候对植物的生长发育来说,热量条件充足,而水分相对热量的不足是限制植物产量的因子之一。此外,降水的季节分配不均(有一明显的干季),这在粤西地区表现尤为突出。

表1 广东省的气候生产力
Table 1 Plant climatic productivities in Guangdong

地区 Area	年均温度(℃) Annual mean temperature	年均降水量 Annual mean rainfall (mm)	NPP(T) ($\text{g m}^{-2}\text{a}^{-1}$)	NPP(P) ($\text{g m}^{-2}\text{a}^{-1}$)	NPP(E) ($\text{g m}^{-2}\text{a}^{-1}$)	谷物产量 Cereal output ($\text{g m}^{-2}\text{a}^{-1}$)	木材产量 Wood output ($\text{m}^3\text{ ha}^{-1}\text{a}^{-1}$)	实际稻谷产量 Actual cereal output in 1992 ($\text{g m}^{-2}\text{a}^{-1}$)
乐昌 Lechang	19.6	1488.7	2203.4	1883.6	1737.7	868.9	20.9	572.2 (66)
南雄 Nanxiong	19.6	1530.6	2203.4	1914.2	1758.5	879.2	21.1	657.6 (75)
连县 Lianxian	19.5	1571.8	2196.4	1943.5	1777.1	888.5	21.3	643.8 (72)
韶关 Shaoguan	20.3	1537.4	2251.2	1919.1	1770.4	885.2	21.2	666.7 (75)
佛冈 Fogang	20.8	2201.3	2284.1	2304.4	2039.0	1019.5	24.5	537.0 (53)
英德 Yingde	20.7	1879.4	2277.6	2138.7	1924.2	962.1	23.1	516.2 (54)
连平 Lianping	19.6	1773.4	2203.4	2075.9	1867.5	933.8	22.4	481.3 (52)
大埔 Dapu	21.0	1447.7	2297.0	1852.8	1733.3	866.6	20.8	515.8 (60)
梅县 Meixian	21.2	1441.4	2309.7	1848.0	1732.3	866.1	20.8	618.5 (71)
德庆 Deqing	21.5	1494.2	2328.5	1887.7	1763.0	881.5	21.2	521.6 (59)
怀集 Huaiji	20.8	1753.4	2284.1	2063.5	1874.5	937.2	22.5	510.0 (54)
高要 Gaoyao	22.0	1644.5	2359.0	1993.3	1850.2	925.1	22.2	611.9 (66)
清远 Qingyuan	21.6	2215.7	2334.7	2311.1	2053.9	1027.0	24.6	544.5 (53)
广州 Guangzhou	21.8	1694.1	2346.9	2025.9	1861.0	930.5	22.3	571.2 (61)
河源 Heyuan	21.2	1889.3	2309.7	2144.3	1934.3	967.2	23.2	461.9 (48)
惠阳 Huiyang	21.7	1699.0	2340.8	2029.1	1862.0	931.0	22.3	418.9 (45)
五华 Wuhua	21.2	1490.4	2309.7	1884.9	1757.6	878.8	21.1	531.6 (61)
普宁 Puning	21.2	2118.3	2309.7	2265.0	2016.9	1008.5	24.2	631.1 (63)
汕头 Shantou	21.3	1554.9	2316.0	1931.6	1790.8	895.4	21.5	790.6 (88)
信宜 Xinyi	22.3	1724.2	2376.8	2045.2	1880.1	940.0	22.6	701.3 (75)
新兴 Xinxing	21.6	1613.9	2334.7	1972.6	1822.3	911.2	21.9	604.2 (66)
台山 Taishan	21.8	1886.0	2346.9	2142.5	1940.5	970.2	23.3	531.7 (55)
中山 Zhongshan	21.8	1724.6	2346.9	2045.5	1874.3	937.2	22.5	597.9 (64)
深圳 Shenzhen	22.0	1926.7	2359.0	2165.3	1958.5	979.3	23.5	476.9 (49)
海丰 Haifeng	21.9	2382.8	2353.0	2383.4	2108.5	1054.3	25.3	470.0 (45)
廉江 Lianjiang	22.8	1756.8	2405.7	2065.6	1899.8	949.9	22.8	503.9 (53)
湛江 Zhanjiang	23.1	1567.3	2422.5	1940.4	1817.2	908.6	21.8	463.9 (51)
阳江 Yangjiang	22.3	2252.8	2376.8	2327.8	2074.4	1037.2	24.9	555.5 (54)
电白 Dianbai	23.0	1527.3	2417.0	1911.8	1796.4	898.2	21.6	503.4 (56)
海康 Haikang	22.9	1711.6	2411.3	2037.2	1881.5	940.7	22.6	409.3 (52)
徐闻 Xuwen	23.3	1364.1	2433.5	1787.3	1712.9	856.3	20.6	445.0 (52)
阳山 Yangshan	20.2	1906.2	2247.6	2153.9	1928.7	964.3	23.1	559.8 (58)
翁源 Wengyuan	20.2	1888.8	2247.6	2144.0	1922.0	961.0	23.1	686.9 (71)
乳源 Ruyuan	19.8	1873.7	2218.3	2135.4	1910.5	955.3	22.9	540.7 (57)
龙川 Longchuan	20.5	1816.8	2265.5	2102.2	1897.1	948.5	22.8	588.4 (62)
罗定 Luoding	21.9	1491.6	2354.4	1885.7	1766.4	883.2	21.2	687.4 (78)

广东省该36个观测站的年均降水量P均大于 $0.316L^{[10,11]}$, The annual mean rainfall (P) of 36 meteorological stations in Guangdong are all more than $0.316L$.

括号内数字为占谷物产量的%, Figures in parentheses indicate the percentage of cereal output
NPP见第47页文中说明

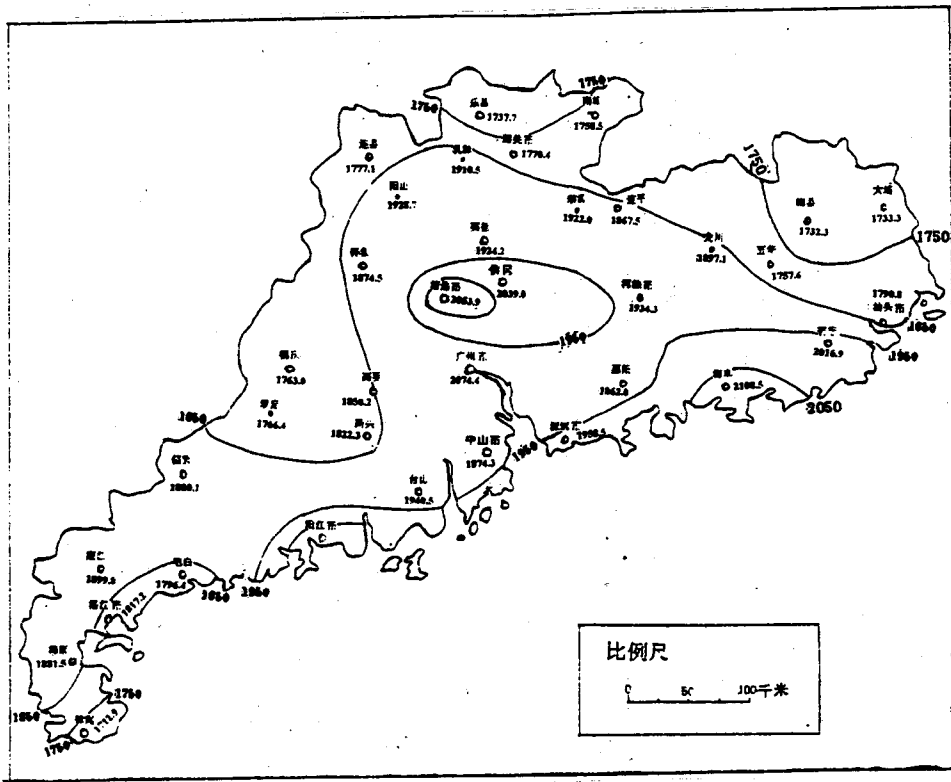


图2 由 Thornthwaite 纪念模型预测的广东省植物气候生产力 ($\text{g m}^{-2}\text{a}^{-1}$)

Fig. 2 Plant climatic productivity in Guangdong evaluated by Thornthwaite memorial model ($\text{g m}^{-2}\text{a}^{-1}$)

根据 Liebig 限制因子定律和 Miami 模型所测的广东省植物气候生产力平均为 $2044.8 \text{ g m}^{-2}\text{a}^{-1}$ 。其地理分布大致与海岸线平行，除雷州半岛外，多为沿海高，内陆低，最高的可达 $2353.0 \text{ g m}^{-2}\text{a}^{-1}$ (海丰)。在中部的清远和佛冈地区也有一高值区，最高可达 $2311.1 \text{ g m}^{-2}\text{a}^{-1}$ 。而粤北和粤东北山区的植物产量均较低。在雷州半岛，由温度和降水所确定的植物产量由东南沿海向西北内陆增加，这主要是由于本地区的热量丰富，但降水由东南向西北逐渐递增的结果。

由年平均实际蒸发散量确定的广东省植物气候产量在 $1712.9\text{--}2108.5 \text{ g m}^{-2}\text{a}^{-1}$ 之间，平均为 $1869.3 \text{ g m}^{-2}\text{a}^{-1}$ ，相当于由温度和降水量所确定的植物气候产量的 91.4%。谷物气候产量平均为 $934.7 \text{ g m}^{-2}\text{a}^{-1}$ 。木材气候产量平均为 $22.4 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}\text{a}^{-1}$ ，比海南地区的木材气候产量平均为 $20.4 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}\text{a}^{-1}$ [12] 要高。造成这种差异的主要原因是二者采用的计算蒸发散量的公式不同所致。而海南的琼中、通什两地的木材气候产量还比实际产量低 [12]。显然海南地区木材的气候产量估算太偏低。其解释为日照少的缘故 [12]，事实上，日照少只能减少实际产量而非气候产量，因为气候产量的估算并未考虑日照因素。从图 1-3 可以看出，除雷州半岛外，它们的地理分布从沿海向内陆递减，等值线大致与海岸线平行。等值线中部稀疏，南北两部较为密集。在雷州半岛，由于大气环流、地理位置和地形等因素综合作用的影响，植物气候产量由东南沿海往西北内陆逐渐增加。在半岛的东南端还形成一个全省的最低值区，植物气候生产力在 $1712.9 \text{ g m}^{-2}\text{a}^{-1}$ 以下，谷物和木材

产量分别低于 $856.3 \text{ g m}^{-2}\text{a}^{-1}$ 和 $20.6 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}\text{a}^{-1}$ 。而在内陆清远、佛冈，以及沿海的海丰、阳江等地的降水量较全省其它地区多，且光、热条件组合较好，使得该地区的植物气候产量很高，范围在 $2039.0-2108.5 \text{ g m}^{-2}\text{a}^{-1}$ 之间；谷物和木材气候产量范围分别在 $1019.5-1054.3 \text{ g m}^{-2}\text{a}^{-1}$ 和 $24.5-25.3 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}\text{a}^{-1}$ 之间。粤北的乐昌和粤东北的大埔、梅县山区，水热条件相对较差，植物气候产量偏低，约在 $1732.3-1737.7 \text{ g m}^{-2}\text{a}^{-1}$ 之间，谷物和木材气候产量分别在 $806.1-868.9 \text{ g m}^{-2}\text{a}^{-1}$ 之间和 $20.8-20.9 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}\text{a}^{-1}$ 之间。

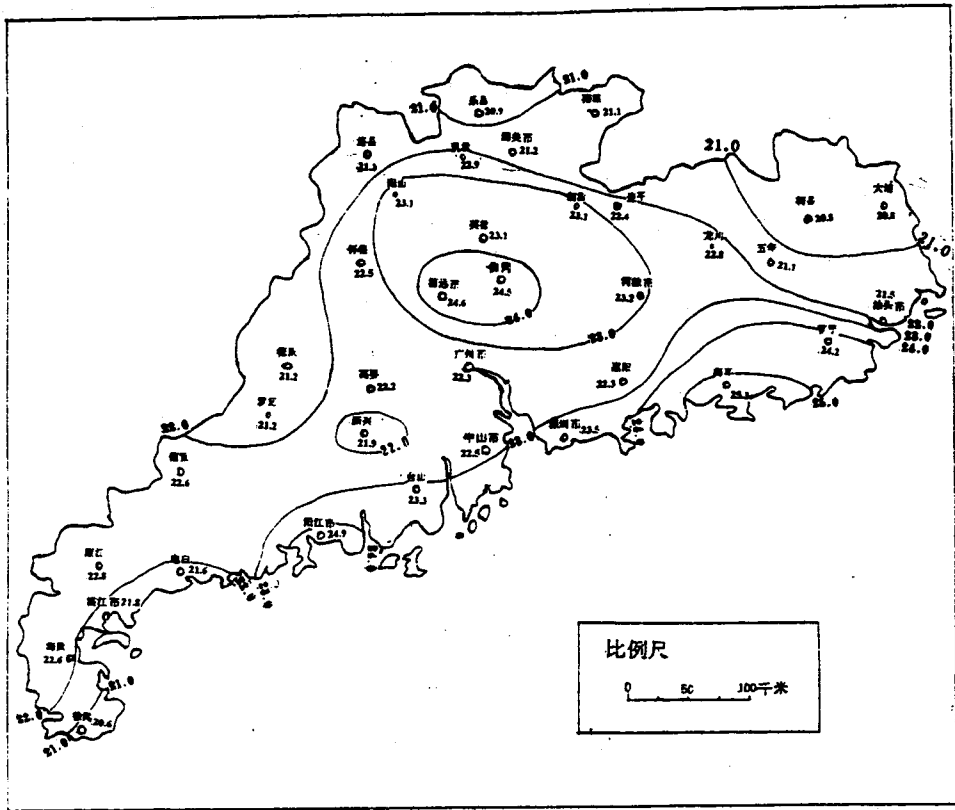


图 3 由 Thornthwaite 纪念模型估算的广东省木材产量 ($\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}\text{a}^{-1}$)

Fig. 3 Wood output evaluated in Guangdong by Thornthwaite memorial model ($\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}\text{a}^{-1}$)

比较两种模型的计算结果，Miami 模型估计的净第一性生产力稍大。由于 Thornthwaite 纪念模型利用的年平均实际蒸发散量综合地考虑了气温和降水及下垫面性质的影响作用，因此理论上更具可靠性。但与实测的鼎湖山(年平均气温 $21.0 \text{ }^\circ\text{C}$ ，年平均降水量 2297 mm)厚壳桂群落净第一性生产力与用两模型预测的净第一性生产力相比，有一定差异。实测值为 $2326.3 \text{ g m}^{-2}\text{a}^{-1}$ [13]，而由温度、降水、年平均实际蒸发散量所估测的净第一性生产力分别为 $2297.0 \text{ g m}^{-2}\text{a}^{-1}$ 、 $2165.5 \text{ g m}^{-2}\text{a}^{-1}$ 和 $1946.2 \text{ g m}^{-2}\text{a}^{-1}$ 。相反由温度估测的净第一性生产力更接近实际水平，而由年平均实际蒸发散量确定的气候产量值仅为实测的 83.7% ，有较大差距。这是由于 Miami 模型和 Thornthwaite 纪念模型是 Lieth 等根据世界各地的实测资料得出的经验模型，这些资料并未包括广东省这一地区。位于欧亚大陆亚热带东部沿海地区的广东省在世界气候和植被格局中独树一帜，为典型热带、

南亚热带和中亚热带季风气候以及热带雨林、南亚热带季风常绿阔叶林和中亚热带典型常绿阔叶林；而世界同纬度的其他地区则多为干旱气候和荒漠植被。这样，在广东省运用 Lieth 等的模型进行生产力的估算时，值偏小；相反，用温度估测的生产力却更接近于实测值。这也表明了 Lieth 等模型应用的局限性。

同时，从表 1 和图 1-3 可知：广东省的气候生产力、谷物和木材产量均是中部沿海地区和内陆的清远、佛冈等地最高；而粤北、粤东北山区和雷州半岛最低。

从表 1 还可知：广东省稻谷的实际产量(1992 年)^[14]在 409.3-790.6 g m²a⁻¹ 之间，平均为 562.9 g m²a⁻¹，仅相当于由年蒸发散量所预测的气候产量的 61.8%。全省多数地区的实际稻谷产量与 NPP(E) 之比在 50-60% 之间，而河源、惠阳、深圳和海丰还不及气候产量的一半；仅南雄、韶关、汕头、信宜和罗定的利用率较高，都大于 75%。这表明广东省光、热、水资源的利用潜力还很大。而要提高广东省的植物气候产量，最重要的环节是充分利用土地资源，分类经营管理，提高土地的利用率；根据各地的实际情况，选种优良适生作物、树种；特别是在干季，开源节流，采用新的灌溉方法，提高水分的利用率，是提高植物产量的重要环节之一。

由于两种模型预测均只考虑气温和降水量及蒸发散量等因素，而植物的生长发育还受土壤、水分的有效性和矿质养分等的深刻影响；同时，这两个模型也未考虑地形的影响，在不同的地形部位，其光、热、水条件也有差异。这样，由此预测的结果就并非完全可靠。在粤西、粤北的石灰岩地区，虽然光、水、热条件丰富，但由于土壤贫瘠，如果估测值准确，其植物净第一性生产力、谷物产量、木材产量都应比估算值低。

参考文献

- 1 Odum E P. Basic Ecology, 3rd ed., CBS College Publishing, Holt, Rinehart and Winston, 1983, 98-99
- 2 Lieth H. Primary production of terrestrial ecosystems, *Human Ecol*, 1973, (1):303-332
- 3 Lieth H, Box E. Evapotranspiration and primary productivity, C. W. Thornthwaite Memorial Model. In: Mather J R ed. Paper on selected topics in Climatology. Thornthwaite memorial, Vol. 2, 1972
- 4 Box E, Lieth H, Wolaver T. Miami model productivity map. In: Lieth H ed. Primary production of terrestrial ecosystems. *Human Ecol*, 1973, (1):303-332
- 5 Whittaker R H, Likers G E. Primary production: The biosphere and man. *Human Ecol*, 1973, (1):357-369
- 6 张家诚. 中国气候. 上海:上海科技出版社, 1985, 472-475
- 7 广东省植物研究所编著. 广东植被. 北京:科学出版社, 1976
- 8 Lieth H, Whittaker R H. 王业蓬等译. 生物圈的第一性生产力. 北京:科学出版社, 1985
- 9 袁嘉祖. 黄土高原地区森林植被建设的优化模型. 北京:科学出版社, 1991, 91-97
- 10 广东省气象局. 广东省地面气象年鉴. 综-10, 1983
- 11 广东省气象局. 广东省地面气象年鉴. 1970-1981
- 12 陈步峰等. 海南地区森林群落可能生产力的估算. *广东林业科技*, 1990, (1):17-22
- 13 彭少麟, 张祝平. 鼎湖山地带性植被生物量、生产力和光能利用效率. *中国科学(B辑)*, 1994, 24(5):497-502
- 14 广东农村统计年鉴编辑委员会. 广东农村统计年鉴. 北京:中国农业统计出版社, 1993, 207-209