

# 韓江流域熱量、水分平衡及其在自然地理過程中的作用

鄧漢增

(地理系)

## 摘要

本文採用適合當地情況的精度較高的方法確定韓江流域地表面熱量、水分平衡各分量，分析了它們的時空分布特徵；並進一步討論了熱量、水分交換強度和方向，它們在地表面熱量、濕潤狀況形成以及植被、土壤發育和分布中的作用；最後結合農業生產談到熱量、水分利用改造的若干問題。

韓江流域是一重要的農林生產基地，總面積約3萬平方公里，範圍在東經 $115^{\circ}15'$ — $117^{\circ}15'$ 、北緯 $23^{\circ}20'$ — $26^{\circ}02'$ 之間，分屬福建、廣東兩省。在自然條件方面，北部屬中亞熱帶常綠闊葉林——紅壤地帶，南部則分屬南亞熱帶季雨林——磚紅壤性紅壤地帶的兩個亞地帶。

## 一 熱量、水分平衡各分量的時空分布

### (一) 熱量、水分平衡各分量的確定方法

由於直接觀測資料的不足，地表面熱量、水分平衡若干分量採用計算方法確定。實際總輻射 $Q$ 月總量按下式計算：

$$Q = 0.964 Q_{0,f} (1 - k_L \bar{n}_L) \frac{1}{1 - \alpha(0.2 + 0.5 \bar{n}_L)}, \quad (1)$$

式中 $Q_{0,f}$ ——考慮參數 $f$ 的晴天總輻射； $\bar{n}_L$ ——有效低雲量（總雲量 $n$ 與低雲量 $n_L$ 的算術平均值）； $k_L$ ——低雲量影響係數； $\alpha$ ——地表面反射率。此式基本

本文於1965年2月16日收到。

采用 M. C. Аверкиев 公式<sup>[5]</sup>的形式, 但其中对  $Q_0$ 、 $\bar{n}_L$  及  $k_L$  的处理不同。

晴天总辐射月总量采用与 Кастров 公式形式一致的公式(2)<sup>[14, 6, 13]</sup>积分算出,

$$Q_{0,f} = \frac{S_0 \cos z}{1 + f \sec z} \quad (2)$$

式中  $S_0$  —— 太阳常数 (1.98卡/厘米<sup>2</sup>·分);  $z$  —— 太阳天顶距;  $f$  —— 与大气透明状况及地表面反射率有关的参数, 可由绝对湿度  $e$  (毫巴) 间接确定, 根据汕头日射资料总结出二者关系为:

$$\begin{aligned} 2-4 \text{ 月} \quad f &= 0.004e + 0.263, \\ 5-1 \text{ 月} \quad f &= 0.004e + 0.228. \end{aligned} \quad (3)$$

由于  $f$  与反射率有关, 故得出的  $Q_{0,f}$  应乘上反射率影响系数 ( $\alpha = 0.18$  时, 系数等于 0.964)。

计算云量时一般均用各次观测 (包括午夜的一次) 的算术平均值, 这显然是不合理的, 本文则采用加数平均法<sup>[10]</sup>。

低云量影响系数  $k_L$  由  $n_L/n$  及  $\bar{n}_L$  确定, 根据汕头日射资料总结出它们的关系为:

$$\begin{aligned} 5-9 \text{ 月} \quad k_L &= 0.2320n_L/n + 0.4531\bar{n}_L + 0.1605, \\ 10-4 \text{ 月} \quad k_L &= 0.1117n_L/n + 0.2741\bar{n}_L + 0.4186. \end{aligned} \quad (4)$$

为检验公式(1)精度, 利用了海口 1958—1961 年 48 个月实测资料, 并用其他一些公式计算, 以资比较, 结果本文(1)式精度较佳 (表 1)。

表 1. 不同公式计算海口总辐射月总量精度比较

	本文(1)式	Аверкиев 式 <sup>[3]</sup>	左大康式 <sup>[4]</sup>	Берлянд式 <sup>[7]</sup>
月值相对误差平均(%)	12.1	13.5	18.7	26.8
月值相对误差最大(%)	50.3	49.8	150.0	79.0
月值相对误差 ≤ 15% 比重(%)	73	65	60	35

确定吸收辐射时, 考虑本流域地表面状况, 根据文献〔8〕和〔1〕, 反射率全年均用 0.18。有效辐射月总量的计算采用 Н. А. Ефимова 公式<sup>[11]</sup>。

陆面蒸发年总量由年水分平衡方程解出。旬蒸发量则用 L. Турс 公式<sup>[17]</sup>计算<sup>1)</sup>:

$$E = \frac{r+a}{\sqrt{1 + \left(\frac{r+a}{E_0}\right)^2}}, \quad (5)$$

1) 原式还有一个植被因子  $V$ , 但本文的  $E$  用热量平衡法确定, 已考虑了活动面因素在内, 故无需再引入  $V$  值。

式中  $E_0$  —— 旬蒸发力;  $r$  —— 旬降水量;  $a$  —— 一旬中上层能供应蒸发的水量, 仍按 Turc 方法确定。由旬蒸发量即可得出月总量, 最后并根据水分平衡法确定的年总量来订正。利用公式 (5) 计算降水年内分配不同的长汀、潮安和海口的蒸发量与水分平衡法计算结果比较, 年相对误差均小于 5%。

多年平均年热量平衡中土壤热通量  $B$  一般等于 0, 又据文献 [8] 和 [1], 本流域月  $B$  值亦可不予考虑。这样, 乱流热通量便可从热量平衡方程中解出。降水、径流已有实测资料, 蒸发量也可算出, 月土层贮水量变化便不难从水分平衡方程中解出。

(二) 热量、水分平衡各分量时空分布特征

韩江流域地表面热量、水分平衡各分量的地理分布 (图 1) 和年变化 (图 2) 有如下一些主要特征:

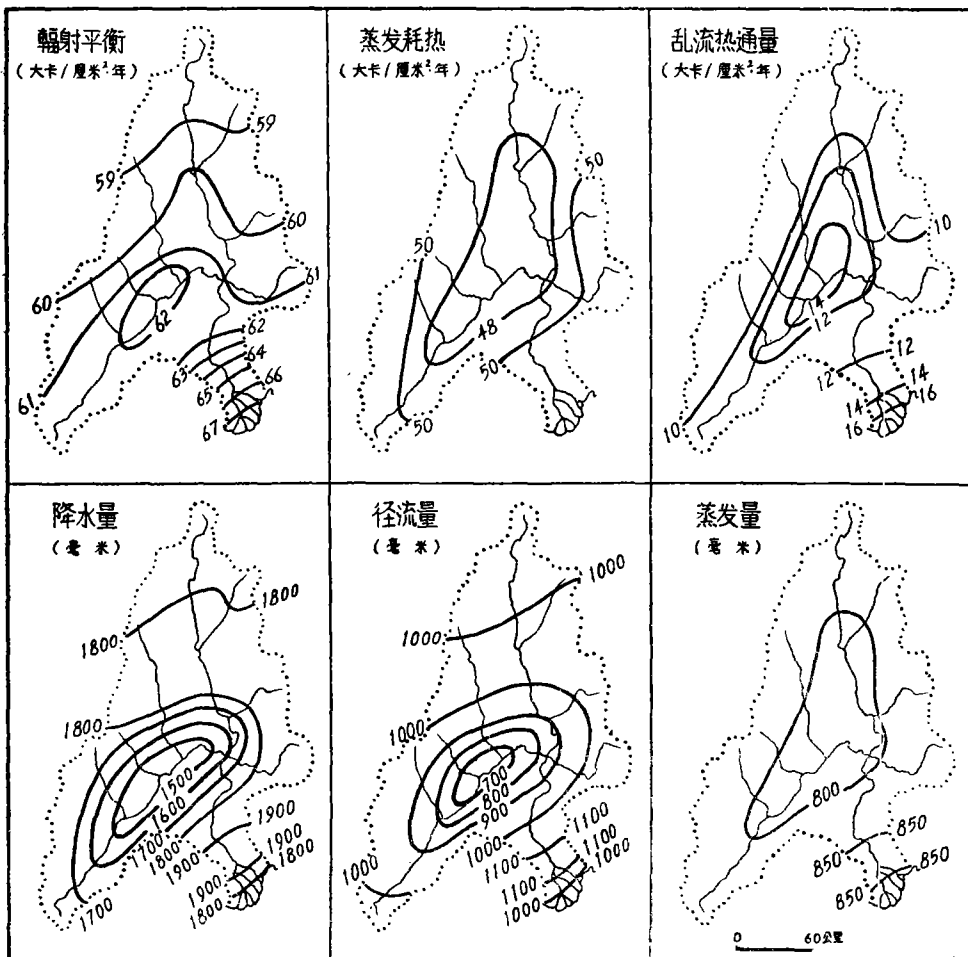


图 1 热量、水分平衡各分量分布图

年輻射平衡  $R$  約58—67大卡/厘米<sup>2</sup>，從北向南遞增，而在梅江谷地和上杭附近出現高值中心。年降水量  $r$  一般約1700—1800毫米，潮安附近可達1900毫米左右，梅江谷地則位於雨影區，不足1500毫米。徑流量  $f$  的分布與降水的完全一致。

水熱分布狀況決定了蒸發  $E$  和蒸發耗熱  $LE$  的分布，南部最大，中部最小。亂流熱通量  $P$  則二者均為最大。

輻射平衡月總量最大為7、8月，這時水分也很充沛，故蒸發耗熱也最大。亂流熱通量變化一般與蒸發耗熱相反，冬季個別月份甚至超過蒸發耗熱。

降水多集中於2—9月，10—1月少雨。多雨期中有二高峰：5—6月和8—9月。北部春雨多於夏雨，南部則相反。徑流亦明顯出現兩高峰，北部春季徑流大於秋季，南部則相反。

從2月起貯水量變化  $\Delta w$  多為正值，積極貯水量  $w_a$  ( $\Delta w$  的累積) 逐漸增加，北部最大值出現於5月末，南部則出現於3月末；以後  $\Delta w$  多為負值， $w_a$  逐漸減少，至1月末便消耗殆盡。 $w_a$  最大值以潮安、長汀為最大，上杭、大埔次之，梅縣最小。

## 二 熱量、水分平衡與自然地理過程

在分析平衡各分量的基礎上，應當進一步考察熱量、水分交換的強度和方向。能量或物質交換的強度是指一定時間內參與交換的能或物質的數量，因此，熱量、水分交換強度可由  $R-B$  和  $r-\Delta w$  表示。交換方向則可由  $LE/(P-B)$  和  $E/(r-\Delta w)$  表示，因為蒸發是熱量、水分交換的主要消耗之一，又是此二交換過程的重要聯繫環節。對於多年平均的年交換來說， $B$  和  $\Delta w$  均等於0，而本流域月  $B$  值亦不予考慮。

韓江流域南部熱量、水分交換強度均最大；中部熱量交換強度較小，而水分交換強度則最小，東、西又稍有差異；北部水分交換強度相當大，而熱量交換強度則最小，南、北又略有不同。交換方向各地也有一定差異。

熱量、水分交換的強度和方向綜合決定了地表面熱量、濕潤狀況。地表面熱量狀況的合理指標是活動面溫度，它與氣溫有一差值  $\Delta T$  (可由熱量平衡方程解出)。 $\Delta T$  隨着熱量交換強度的增加和交換方向指標的減小而增大 (表2)

表2 熱量交換強度和方向與  $\Delta T$  的關係

	長汀	上杭	梅縣
$R$ 大卡/厘米 <sup>2</sup> ·年	58.2	60.5	62.5
年平均 $LE/R$	0.85	0.78	0.75
年平均 $\Delta T$ °C	1.3	2.3	2.6

地表面濕潤指標，本文除一般常用的濕潤指數  $r/E$ 。(月的則為  $(r-\Delta w)/E$ ) 外，還採用與土層有效含水量成比例的蒸發比  $E/E$ 。因為對於土層濕潤狀況來

长汀 上杭 梅县 大埔 潮安

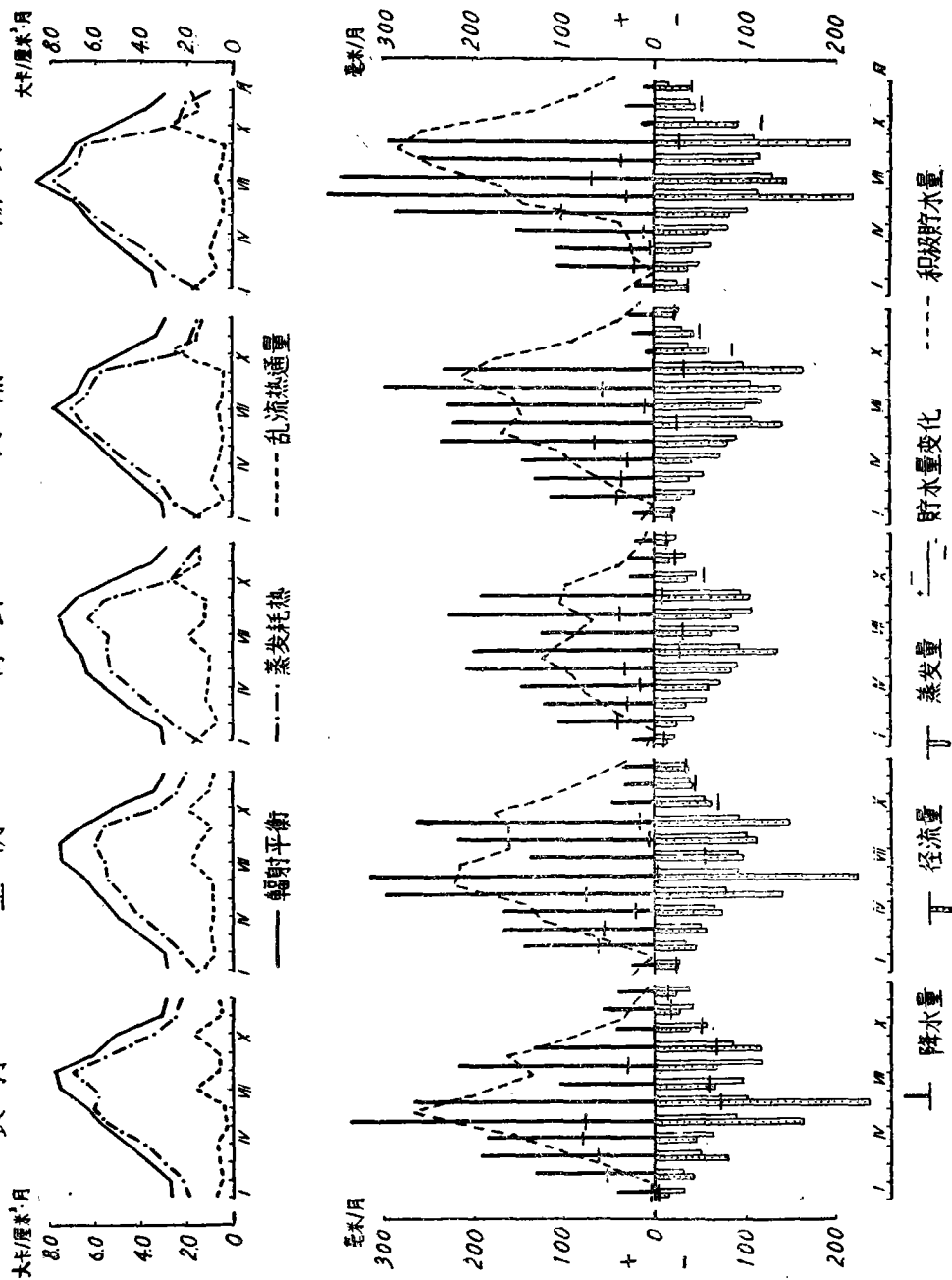


图2 热量、水平衡各分量的年变化

长汀 上杭 梅县 大埔 潮安

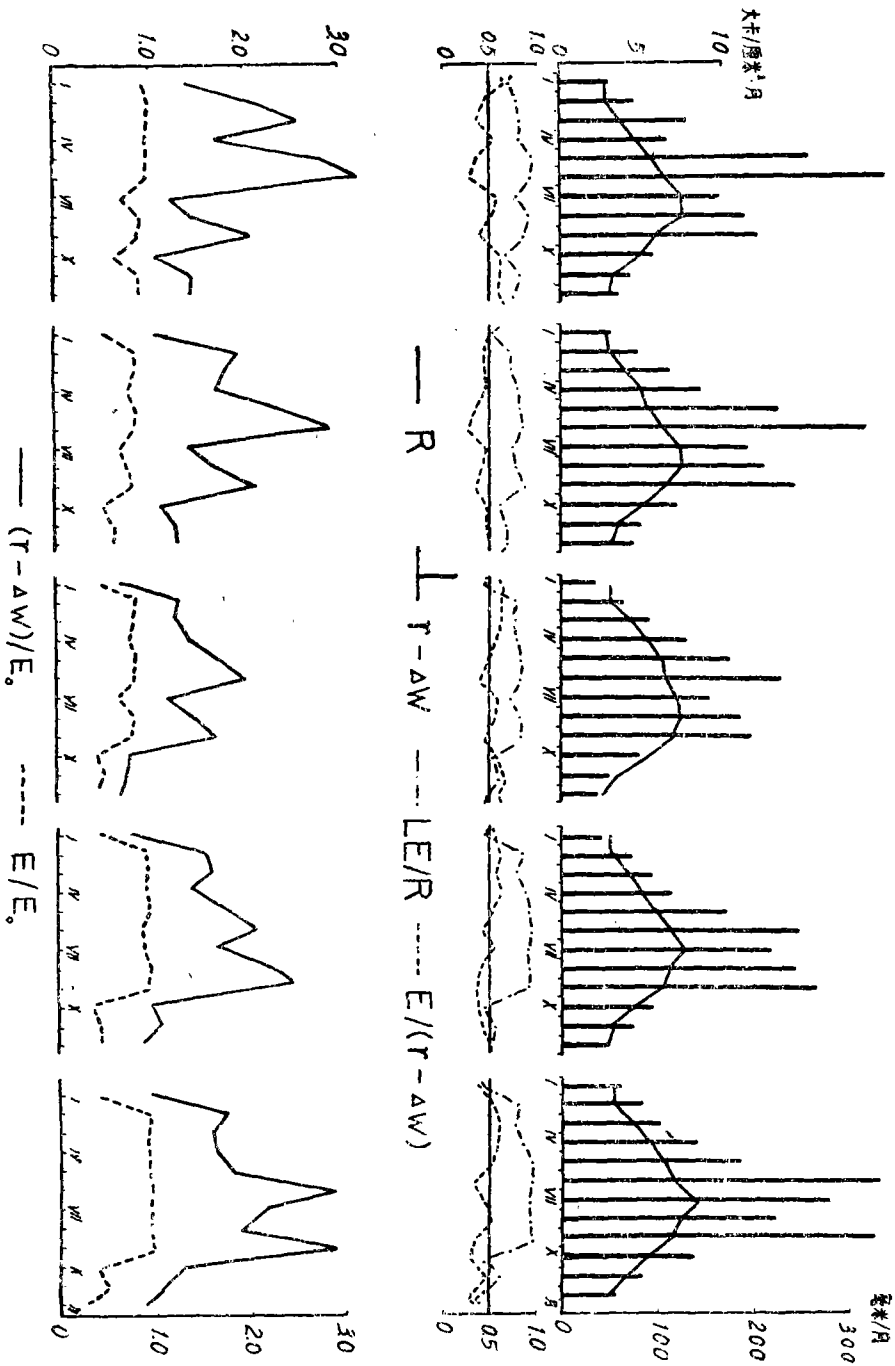


图3 热量、水分交换强度、方向与湿润指标的年变化

說，前者仅表示一可能程度，后者才表示实际程度，故二者应当相輔使用。由于  $E_0 \approx R/L$ ，因此容易看出，湿润指数实即以同单位表示的热量、水分交换强度的比值，而蒸发比则是与水分交换方向有密切关系的热量交换方向。这从它们的年变化（图 3）更可清楚看出。图 3 中交换强度坐标是 6 大卡/厘米<sup>2</sup> 相当于 100 毫米，这一比例使二交换强度可用同一单位表示。

从图 3 可见，水分交换强度越大于以同单位表示的热量交换强度，以及二交换方向指标相差越大时，地表面湿润程度越大，反之亦然；当水分交换强度小于以同单位表示的热量交换强度，以及水分交换方向指标大于热量交换方向指标时，湿润程度最小。

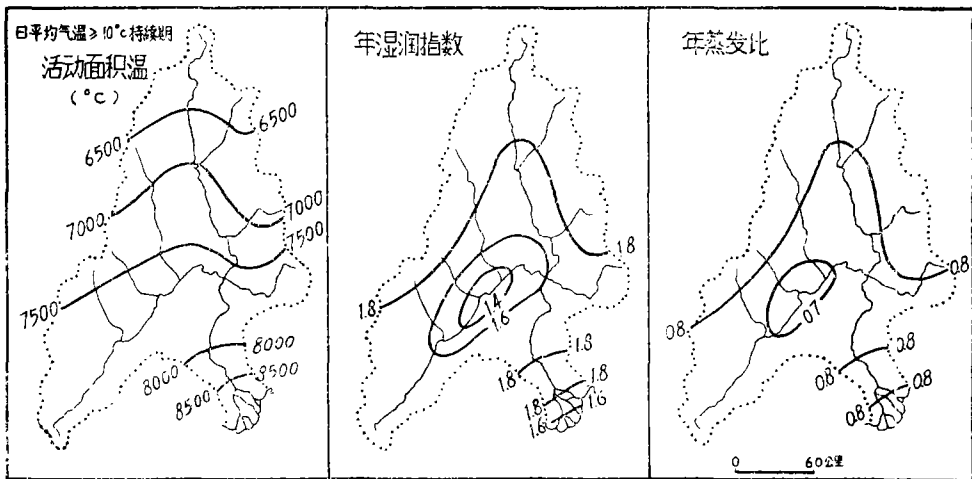


图 4 热量、湿润指标分布图

韓江流域地表面热量、湿润状况的地理分布见图 4，日平均气温  $\geq 10^\circ\text{C}$  持续期活动面积温从北端的稍大于 6000 $^\circ\text{C}$  向南递增至大于 8500 $^\circ\text{C}$ ；年湿润指数约 1.3—1.9，蒸发比 0.7—0.9，分布形势本基相似，南、北部较湿润，中部较干。

地表面热量、湿润状况对植被、土壤过程的强度有极其深刻的影响。植被生物过程是一系列物质和能的交换过程，其中特别重要的是直接制造生物质的光合作用，因此，光合作用产物生产率可以作为植被生物过程强度指标。在缺乏实测资料时，它可以由光合作用活潑辐射  $Q_p$ （光谱区间 330—710 毫微米的太阳辐射）计算出来。 $Q_p$  则用 X. Молдау 等<sup>[15]</sup> 的方法确定。

计算结果，韓江流域光合作用活潑辐射年总量北部约 55—58 大卡/厘米<sup>2</sup>，中部 58—61 大卡/厘米<sup>2</sup>，南部 61—63 大卡/厘米<sup>2</sup>。若按天然森林植被的  $Q_p$  利用系数为 3%<sup>[12]、[16]</sup>，形成 1 克植物干物质要消耗 4.25 大卡热量，则可算出北部天然植被

每年每公頃光合作用產物有39—41公噸，中部41—43公噸，南部43—45公噸。南部計算結果與福建亞熱帶季雨林實測結果<sup>(2)</sup>相當符合。

土壤過程是土體中一系列物質轉化和運動過程，它們均需消耗能量，因此可以用土壤過程總耗能作土壤過程強度指標。據B. P. Волобуев<sup>(9)</sup>分析，它最主要的分量是風化過程、生物過程和蒸發過程消耗的能量。後二者前面已經確定，第一項則缺乏必要資料，只能根據水熱指標從文獻〔9〕中近似確定，由於它對總耗能來說是很小的（本流域僅約5—6卡/厘米<sup>2</sup>·年），所以這樣處理還是可以的。韓江流域土壤過程總耗能約50—55大卡/厘米<sup>2</sup>·年，其中蒸發過程耗能占比重最大，達96—97%，比重最小的是風化過程耗能，僅占0.01%，生物過程耗能約占3—4%。

韓江流域北端的長汀和南端的潮安濕潤條件大致相同，植被、土壤過程強度隨熱量增加而增加（表3），熱量條件大致相似的梅縣和大埔，它們的強度則隨濕潤程度減小而減小（濕潤程度減小必然會通過植被狀況影響光能利用效率，從而使光合作用產物生產率下降，但仍未有足夠資料確定其定量關係）。

表3. 水熱條件和植被、土壤過程強度的關係

	R 大卡/厘米 <sup>2</sup> ·年	日平均氣溫≥10°C 持續期活動面 積溫°C	$\frac{r}{E_0}$	$\frac{E}{E_0}$	光合作用產物 公噸/公頃·年	土壤過程總耗能 大卡/厘米 <sup>2</sup> ·年
長汀	58.2	6191	1.86	0.88	39	51
潮安	65.3	8516	1.85	0.82	43	55
梅縣	62.5	7898	1.28	0.69	—	48
大埔	60.3	7651	1.64	0.79	—	50

水熱條件對植被、土壤過程的方向也有巨大的影響。熱量、水分交換與物質的分解、遷移和積聚有極密切的關係，因此，地表面熱量、濕潤狀況的不同，必然影響到參加生物循環元素的一定的差異以及風化程度和次生礦物組成的差異等等。

由此可見，熱量、水分交換的強度和方向綜合決定了地表面熱量、濕潤狀況，制約着植被、土壤過程的強度和方向，從而對植被、土壤的性質和分布以至整個自然綜合體的結構產生極其深刻的影響。

從圖5可見，韓江流域南北濕潤條件大致相似而熱量條件差異顯著，植被、土壤和地理景觀隨着熱量條件的變化而呈現出明顯的緯度地帶性。北部日平均氣溫≥10°C活動面積積溫小於7500°C、年輻射平衡小於60大卡/厘米<sup>2</sup>，中部7500—8000°C、60—62大卡/厘米<sup>2</sup>，南部大於8000°C和62大卡/厘米<sup>2</sup>；北部的地理景觀屬中亞熱帶常綠潤葉林—紅壤景觀型，中、南部則分屬南亞熱帶季雨林—磚紅壤性紅壤景觀型的兩個亞型。在自然區劃中，中亞熱帶、南亞熱帶以及後者的兩亞地帶的界綫與7500°C、60大卡/厘米<sup>2</sup>以及8000°C、62大卡/厘米<sup>2</sup>等值綫大致相符，本流域中部

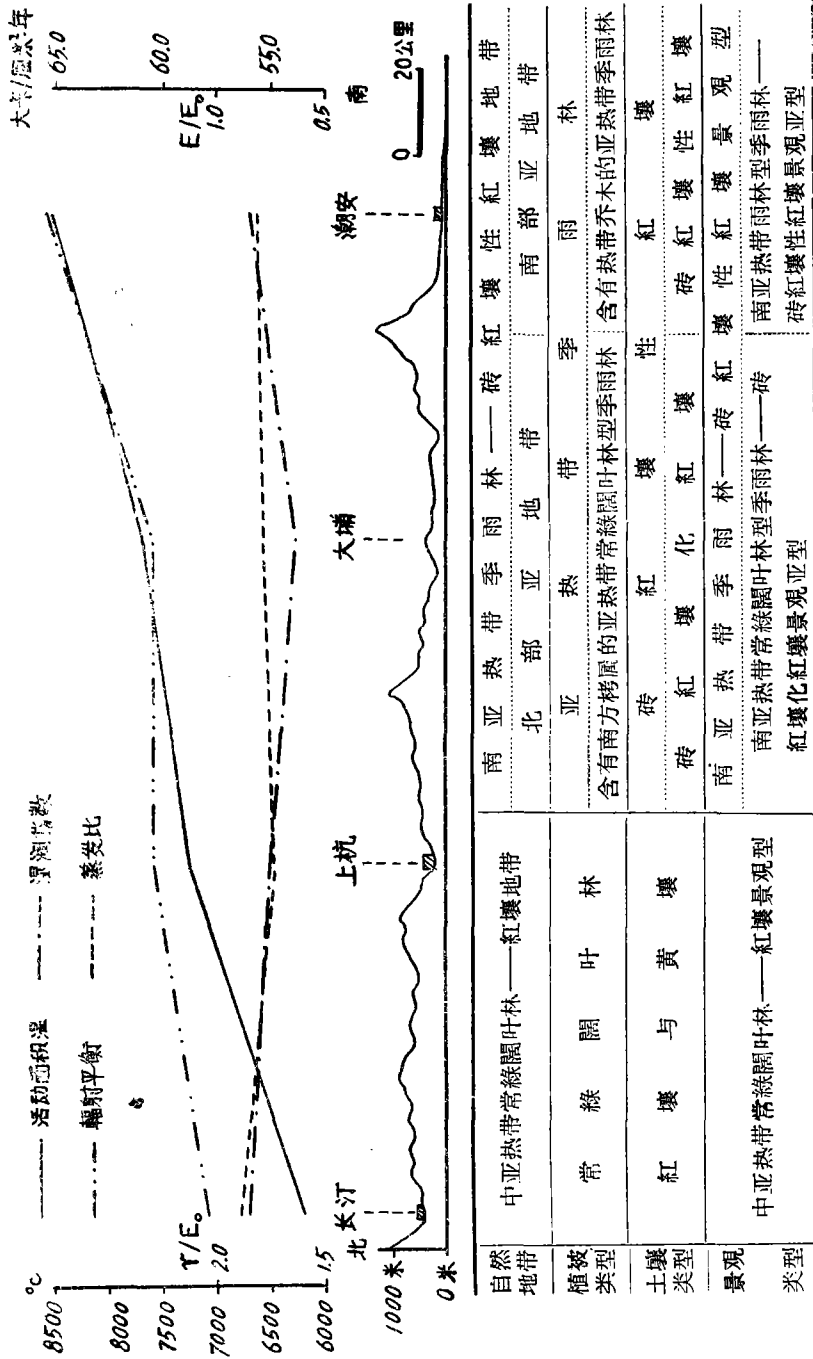


图 5 韓江流域水热条件和自然地理綜合剖面图

东、西热量条件近似而湿润条件有一定差异，梅江谷地較大埔低山丘陵干，前者植被复盖度差，盆地中更以旱生性草本植被为主，后者則森林植被复盖度一般較佳。

### 三 热量、水分状况的利用和改造

韓江流域接受太阳能量很丰富，但作物对光能利用效率并不高，根据实际产量资料与生长期光合作用活潑輻射 $Q_p$ 比較，水稻的 $Q_p$ 利用系数平均仅約 2.5—3.0% 左右。若能把利用系数提高到5%（据国内外許多资料，这一指标是可以达到的），韓江流域中、南部一年三熟地区双季稻亩产可达2800斤以上，中部冬小麦約 500—600斤；北部一年二熟地区双季稻也可达2500斤，中稻1600斤（經濟系数水稻按 0.5、小麦按 0.35 計算）。这只是从光能利用方面来说明本流域农业生产潜力还是很大的，而要实现它，还必须多方面条件的配合，其中水分是一个很主要的限制因素。

韓江流域年降水量很大部分地区超过1600毫米，但 $E/r$ 大都不及0.5， $r/E_0$ 都在 1.2以上，但 $E/E_0$ 却有半数地区小于0.8。也就是說，水分交換强度虽大，而方向对植被不大有利，水分半数以上耗于径流，土层实际湿润状况并不太佳。故应减少径流損耗，以更充分利用水分。湿润状况年内差异各地不同。长汀全年均較湿润，沒有形成明显干期。上杭湿润指数全年均大于1，但蒸发比都較低，应采取减少径流措施。梅县較干，特别是10—1月，蒸发比都小于0.5，湿润指数也不到1，其余各月湿润状况也不太好，故应考虑在空間上重新分配水分。大埔、潮安干湿期明显，且湿期湿润状况甚佳，可考虑在時間上重新分配水分。

了解了水分缺乏需要补足以后，就需要知道应补足多少水量，即确定灌溉定額。将蒸发差( $E_0 - E$ )与作物缺水水量（作物需水量与有效降水量之差，資料取自广东省水利电力科学研究所）比較（表4），二者相当符合。因此，利用蒸发差作气候学灌溉定額是合理的。韓江流域中、南部广大地区冬季相当干旱，而冬作物在

表4. 蒸发差与作物缺水水量的比較（毫米）

	冬 小 麦		冬 甘 薯	
	潮 安	梅 县	潮 安	梅 县
蒸发差	103.1	96.7	104.0	100.0
作物缺水水量	94.7	80.5	115.3	102.0

当地粮食生产中占相当重要地位，它們主要是甘薯和冬小麦，生长期約从11月下旬至次年3月，这期间蒸发差約80—110毫米（53—73公方/亩），大部分集中于11月下旬至1月。

气候学灌溉定額仅代表較大地区平均状况，可供了解各地缺水情况的差异。在

具体条件下进行灌溉,就要考虑作物、土壤等状况来确定实际灌溉定额,其中最重要的是了解作物需水量。它与蒸发力存在一定的比例关系,但蒸发力观测资料缺乏,按热量平衡法计算又很繁复。据本流域资料分析,蒸发力与同期空气积温相关系数达0.96,气温资料容易取得,用来计算作物需水量是方便的。

利用梅县古塘和潮安金石二灌溉试验站资料总结出全生长期(本田)水稻需水量 $E'$ (毫米)与积温 $\Sigma t(^{\circ}\text{C})$ 关系如下:

$$\begin{aligned} \text{早造} \quad E' &= 0.411\Sigma t - 423.3, \\ \text{晚造} \quad E' &= 0.458\Sigma t - 689.1. \end{aligned} \quad (6)$$

用邻近韩江三角洲的揭阳仙河灌溉试验站资料检验,早造相对误差平均4.5%,晚造11.6%。各生育期二者关系为:

$$E_1' = 0.205\Sigma t, \quad (7a)$$

$$E_2' = 0.247\Sigma t, \quad (7b)$$

$$E_3' = 0.143\Sigma t + 12.9. \quad (7c)$$

(7a)式用于移植回青期和分蘖前后期,(7b)式用于拔节期、孕穗期和抽穗开花期,(7c)式用于青熟期和腊熟期,各式均适用于早晚造。用此三式求出全生长期需水量与实际资料比较,相对误差平均7.7%。北部缺乏资料检验,故(6)(7)式适用于中、南部设计灌溉定额、灌溉制度时参考。至于旱作物则目前仍缺乏必要资料总结。

## 结 语

1. 韩江流域热量丰富,雨水充沛(集中于2—9月)。蒸发耗热占辐射平衡大部分,雨量则半数以上耗于径流。

2. 热量、水分平衡的研究应当在分析各分量的基础上,进一步考察热量、水分交换的强度和方向;可以用 $R-B$ 和 $r-\Delta w$ 作交换强度指标,用 $LE/(R-B)$ 、 $E/(r-\Delta w)$ 作交换方向指标。

3. 地表面热量、湿润状况决定于热量、水分交换的强度和方向,用日平均气温 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 持续期活动面积积温、湿润指数和蒸发比评价热量、湿润条件是适宜的。本流域热量从南向北渐减,湿润条件则南、北部优于中部,中部又稍有东、西差异,以梅江谷地为最干。

4. 水热条件对植被、土壤过程强度(分别以光合作用产物生产率和土壤过程总耗能为定量指标)和方向有巨大影响,因而水热条件的地域差异也反映在植被、土壤以至地理景观的分布上。

5. 本流域中亚热带常绿阔叶林—红壤地带和南亚热带季雨林—砖红壤性红壤地

带的界线与活动面积温 $7500^{\circ}\text{C}$ 、年辐射平衡60大卡/厘米<sup>2</sup>等值线大致相符, 南亚热带内南、北二亚地带界线则与 $8000^{\circ}\text{C}$ 和62大卡/厘米<sup>2</sup>等值线相当。

6. 本流域太阳辐射能量丰富, 但作物的光能利用效率不高, 若提高利用效率, 当可保证高产。湿润状况具地域差异。其改造也不同。蒸发差可供确定灌溉定额参考, 作物需水量的计算采用以空气积温为参变数的回归方程是适宜的。

因篇幅关系, 此处发表的仅为本文摘要。最后, 衷心感谢导师黄润本先生的指导。

### 参 考 文 献

- [1] 黄润本, 地理学报, 26卷3期, 181—190 (1960)。
- [2] 何景等, 厦门大学学报(自然科学), 10卷2期, 181—189(1963)。
- [3] 刘森元, 地理学报, 29卷3期, 188—196 (1963)。
- [4] 左大康等, 气象学报, 33卷1期, 78—96 (1963)。
- [5] Аверкиев М. С., Вестник МГУ, сер. геогр., No. 1, 40—47(1961)。
- [6] Берлянд Т. Г., Тр. ГГО, вып. 48 (110) (1954)。
- [7] Берлянд Т. Г., М. и Г., No. 6, 9—12(1960)。
- [8] Будыко М. И. (1956), 地表面热量平衡, 科学出版社, 1960。
- [9] Волобуев В. Р., Почвоведение, No. 7, 18—25 (1958)。
- [10] Гойса Н. И., Тр. Укрнигми, вып. 26, 3—13 (1961)。
- [11] Ефимова Н. А., М. и Г., No. 10, 23—33 (1961)。
- [12] Иванов Л. А. (1946), 树种生活中的光 and 水分, 科学出版社, 1957, 26。
- [13] Кондратбев К. Я., Ученые записки ЛГУ, сер. физ., вып. 9, 29—39 (1956)。
- [14] Махоткин Л. Г., Изв. АН СССР, сер. геофиз., No. 5, 463—468 (1953)。
- [15] Молдау Х. и др., в сб.: фотосинтез и вопросы продуктивности растений, Изд. АН СССР, 1963, 149。
- [16] Ovington J. D., In: Advances in ecological research, v. 1, 1962, 141。
- [17] Туис L. (1955), Баланс почвенной влаги, Гидрометеониздат, 1958, 85—90。

## The Heat and Water Balances of the River Han—chiang Basin and Their Role in the Physico—geographical Processes

Deng Han—zeng

### Abstract

The River Han—chiang Basin, which is located in southeast China, receives plenty of solar radiation and atmospheric precipitation. The annual radiation balance( $R$ ) increases southward from 58 to 67 kcal/cm<sup>2</sup>, of which the expenditure of heat for evapotranspiration( $LE$ ) expends a large portion. The annual total rainfall( $r$ ) ranges from 1400 to more than 1900 mm, it comes mostly during the time between February and September; and the Mei—chiang Valley, lying in rain—shadow, receives the least rainfall. More than a half of the annual rainfall goes to the run—off.

On the basis of analysing the components of heat and water balances; the paper studied the intensity and direction of heat and water exchanges, the author considered  $R-E$  and  $r-\Delta w$  as the quantitative criteria of the intensity of exchanges, and  $LE/(R-B)$  and  $E/(r-\Delta w)$  of the direction of exchanges. The thermal and humid conditions of active surface, which depend upon the intensity and direction of the heat and water exchanges, have great influence on the intensity and direction of vegetation and soil processes, and the territorial differentiation of thermal and humid conditions have their reflection on the distribution of vegetation, soil and geographical landscape types.

The north of the Han—chiang Basin, where the accumulated temperature of active surface  $\Sigma ta$  is below 7500°C, the annual radiation balance  $R$  is below 60 kcal/cm<sup>2</sup>, is occupied by the geographical landscape type of central subtropical evergreen forest—reddish soil; further south to the region, where  $\Sigma ta$  and  $R$  is above the aforesaid criteria, is occupied by

---

Symbols:  $B$ —heat flux in soil;  $E$ —evapotranspiration;  $\Delta w$ —change of water in soil.

the geographical landscape type of southern subtropical monsoon forest-lateritic reddish soil. In physical regionalization, the boundary of these two zones corresponds roughly with the isopleths of that criteria.

Finally, the problem of utilizing and transforming the thermal and humid conditions is described in this paper.