

植被的PE(可能蒸散)指标与植被-气候分类(二) ——几种主要方法与PEP程序介绍

张新时

(中国科学院植物研究所)

摘要

应用C. W. Thornthwaite计算PE与气候分类方法对我国671个气候台站资料计算分析结果,得出可能蒸散的地理回归模型为:

$$APE = 2037.98 - 18.8308LAT(\text{纬度}) - 4.5801LONG(\text{经度}) - 0.157861ALT(\text{海拔})$$

APE与湿度指数Im与我国植被的主要类型及其分布格局有密切相关性。其热量指标(APE)界限与北美颇相符合,但Im明显偏低,反映了中国植被的生态特点。研究表明该方法在我国有明显的 application 前景。

关键词 Thornthwaite; 可能蒸散; 湿度指数; 植被-气候分类

Thornthwaite的方法与分类及其在中国的应用

C. W. Thornthwaite估算可能蒸散的方法在美国是最著名和得到最广泛应用的方法。它不仅被气候学家与植物生态学家在气候分类与联系植被-气候的定量相互关系时大量引用^[11],并且在果树、经济作物与农作物栽培中被普遍用来估测作物的灌溉需水量,从而在生产实践中起了重要作用。在美国的土壤分类系统中对气候湿润度与热量级的划分采用了Thornthwaite的指标^[10]。联合国教科文组织(UNESCO)划分世界干旱区与半干旱区气候也采用了这一方法^[9]。因此,该方法已具有国际性意义。

一、Thornthwaite的可能蒸散计算与分类方法

Thornthwaite在1948年发表了用气温计算可能蒸散的方法^[12]。他利用实验数据求出可能蒸散(E_0)与月均温 $T(^{\circ}C)$ 之间的经验关系式如下: $E_0 = 16(10T/I)^a \text{mm mo}^{-1}$

其中: $a = (0.675I^3 - 77.1I^2 + 17920I + 492390) \times 10^{-6}$

$$I = \sum_1^{12} (T/5)^{1.514}$$

I是12个月总和的热量指标,a则是因地制宜的常数,是I的函数。这一关系仅在气温 0° 与 $26.5^{\circ}C$ 之间有效。Thornthwaite将在气温低于 0° 时的可能蒸散率设定为0;在高于 26.5° 时,可能蒸散仅随温度增加而增加,与I值无关。计算所得的 E_0 值还须根据实际的日长时数与每月日数进行校正后,才能得到校正的可能蒸散值(APE):

$$APE = E_0 \times CF$$

式中CF是按纬度的日长时数与每月日数的系数。可见,该方法除了气温外,还需要用纬度与每月日数为基本计算数据。后二者具有达到地表的太阳辐射强度与持续时间的因

素,从而给出陆地表面通过潜热流机理使能量返回大气的最大可能蒸散。

该法又进一步根据月平均降水量与可能蒸散的差值进行了土壤水分平衡的计算,从而对估量各种土壤条件下的作物灌溉需水量有参考价值。这些参数量是:

$$S = P - APE \text{ (当 } P > APE \text{)} \quad D = APE - P \text{ (当 } P < APE \text{)}$$

式中: S : 在降水 P 大于可能蒸散时的水分盈余 (mm)

D : 在降水 P 少于可能蒸散时的水分亏缺 (mm)

在水分有盈余 (出现 S) 条件下的当月湿润指标 (I_h) 为: $I_h = 100(S/APE)$

在水分亏缺 (出现 D) 条件下的当月干旱指标 (I_a) 为: $I_a = 100(D/APE)$

根据全年各月的湿润与干旱指标可以计算当年的湿度指标 (I_m):

$$I_m = I_h - 0.6I_a = 100(S - 0.6D)/APE$$

根据 I_m 所划分的九种气候类型如表 1^[4]

表 1

| 气候类型 | 湿度指标 (I_m) |
|------------------------------------|----------------|
| A 过湿 (Perhumid) | 100 及以上 |
| B ₁ 湿润 (Humid) | 80—100 |
| B ₂ 同上 (ib.) | 60—80 |
| B ₃ 同上 (ib.) | 40—60 |
| B ₄ 同上 (ib.) | 20—40 |
| C ₁ 中湿 (Moist subhumid) | 0—20 |
| C ₂ 低湿 (Dry subhumid) | -33.3—0 |
| D 半干 (Semiarid) | -66.7—-33.3 |
| E 干旱 (Arid) | -100—-66.7 |

表 2

| 气候类型 | 热量系数 (TE cm) |
|------------------------------------|--------------|
| A' 高温 (Megathermal) | >114.0 |
| B ₁ ' 中温 (Mesothermal) | 99.8—114.0 |
| B ₂ ' 同上 (ib.) | 85.6—99.7 |
| B ₃ ' 同上 (ib.) | 71.3—85.5 |
| B ₄ ' 同上 (ib.) | 57.1—71.2 |
| C ₁ ' 低温 (Microthermal) | 42.8—57.0 |
| C ₂ ' 同上 (ib.) | 28.6—42.7 |
| D' 冻原 (Tundra) | 14.3—28.5 |
| E' 寒冻 (Frost) | 0—14.2 |

上述湿度气候类型尚可根据降水与干湿度的季节性变异作进一步划分。

可能蒸散 (APE) 也用作为热量系数的指标,因为它是一个日长与温度的表达式。研究表明,植物的生长与年可能蒸散的总和是高度相关的,因此 APE 可作为地区生长潜力的指标。按可能蒸散进行的热量分区如表 2^[12]。

对 Thornthwaite 方法的批评也不少。其中被提到最多的是在该系统中作为主要变量的温度不是蒸散率的最佳指标,而采用辐射值或能提供更精确的结果^[6]。其次,由于该公式是根据在美国东部的渗透计观测资料而建立的,在世界其他地方使用不尽合宜。再则,对于在温度低于 0℃ 以下时蒸散作用停止的设定也有批评^[6,6]。尽管如此,该方法仍不失为一种有价值的方法,特别适用于计算逐月的资料,而对较短期资料的结果较差。

二、Thornthwaite 可能蒸散与气候分类对植被分布的关系

Thornthwaite 的气候分类发表 40 年来有大量的研究着重于植被分布与气候指标的关系^[7,8]。他早在 1931 年的分类系统中就已试图把气候分类与植被和土壤类型相联系,经修改后的关系图式如图 1 所示。

Thornthwaite 与 Hare^[13] 在研究北美北方针叶林的气候指标时发现,在亚寒带,北方针叶林的亚类型与 APE , 即热量系数有很好的相关性如表 3;

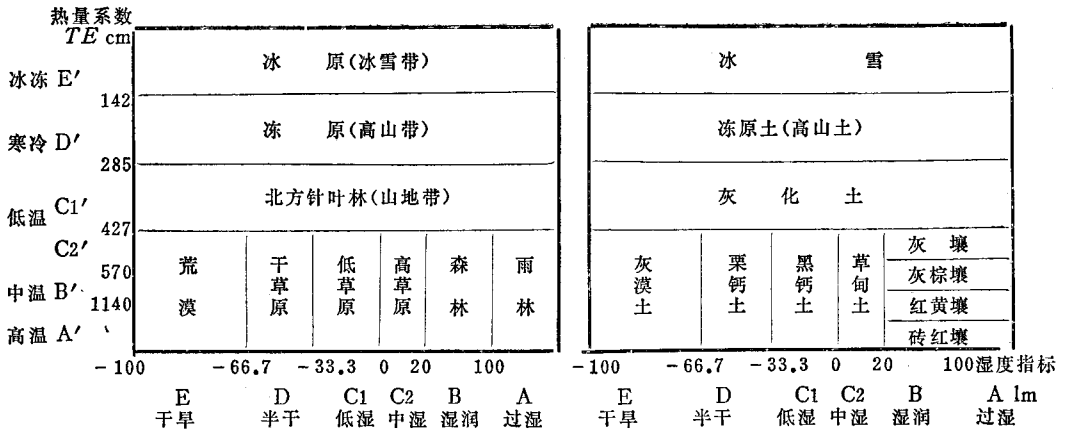


图1 气候、植被与土壤相互关系的图示(修改自 Thornthwaite and Hare 1955)

Fig. 1 Graphical representation of relation between climate, vegetation and soil (Adapted from Thornthwaite and Hare 1955)

表3

| 森林亚地带 | APE cm | 植 被 |
|-------|--------|--|
| 冻 原 | 31 | 冻原 |
| 森林冻原 | 35 | 冻原在河间地;林地在河谷中 |
| 疏 林 | 42 | 以富含 Cladonia 地衣的疏林占优势;树冠郁闭的森林成小片丛林间断分布 |
| 森 林 | 52 | 树冠郁闭的森林占据着大部分的中生生境 |
| 温性混交林 | | 以非北方针叶林的种类在林中占优势;通常是落叶阔叶树种 |

但在温带湿润气候条件下, I_m 则成为主导因素, 森林类型的变异主要是由于湿度的差异所致, 因而可用以作为大致划分森林类型的指标如表 4^[13]。

表4

| 气 候 | 湿度指标 I_m | 北部地带 | 南部地带 |
|----------------|------------|-------------|---------|
| B ₄ | 80—99.9 | 云杉-冷杉 | (美东部缺如) |
| B ₃ | 60—79.9 | 桦木-水青冈-槭-铁杉 | 栎-栗 |
| B ₂ | 40—59.9 | 水青冈-槭 | 栎-松 |
| B ₁ | 20—39.9 | 栎-山核桃 | 栎-山核桃 |

Mather与Yoshioka^[8]总结过去的大量研究作出结论, 认为只有将植被类型与温度和湿度指标二者相对应方能得出良好的植被-气候关系与分类。他们以北美与相邻热带的天然植被与气候的湿度指标 (I_m) 与可能蒸散 (APE) 的定量相关关系作出的散点图(图 2) 较好地表现了各类植被分布与气候指标的格局。

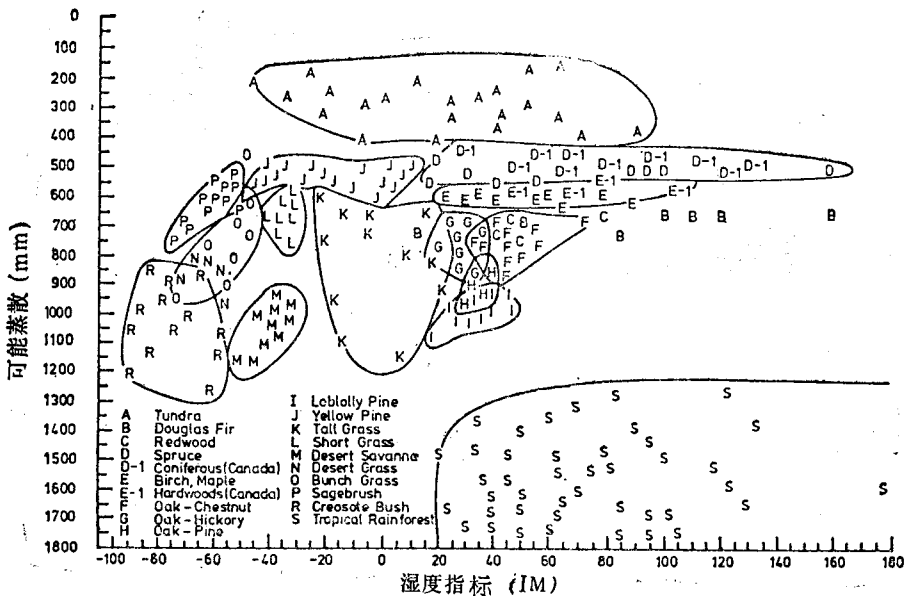


图2 美国、加拿大与热带代表性台站的气候湿度指标, 可能蒸散与天然植被的关系
 Fig.2 Relation between climatic moisture index, potential evapotranspiration, and natural vegetation at representative stations in the U.S., Canada, and the Tropics (from Mather and Yoshioka 1968)

三、中国植被分布与Thornthwaite的可能蒸散 (APE)和湿度指标(I_m)的关系

Thornthwaite方法在我国的应用最早与唯一者为陶诗言的中国气候分区^[1]。该分区被认为与自然景观相当符合,其以热量与水分状况作为一、二级区划的思想,实际上已成为以后我国气候区划的基础和原则^[2,3]。对该方法既有如此高的评价,但在我国却一直不得应用与推广的原因实由于其计算较复杂,且在国内外缺乏必要的专用计算表^[14]。对该系统气候指标与中国植被的相关研究亦属厥如。近来编制的Thornthwaite方法的计算机程序¹⁾使该法在我国使用与推广成为可能,并十分方便。

作者根据我国671个国家气候观测台站资料用Thornthwaite方法计算所得的可能蒸散(APE)、湿度指数(I_m)与气候分类对我国主要植被类型及其地理分布格局有密切的关系与规律性的递变。

作为热量指标的APE与我国的纬度(LAT)、经度(LONG)及海拔(ALT)高度相关,其多元回归模型如下:

$$APE = 2037.98 - 18.8308LAT - 4.5801LONG - 0.157861ALT$$

$$R = 91.7\%, N = 671$$

根据上式,在我国APE随纬度每向北一度则减少18.8mm,随经度每向东一度减少4.6mm,随海拔每升高100m降低15.8mm。APE向北与向高海拔的减少是与热量相关的,而在我国西部偏高则是与西部的荒漠与草原景观相适应的。

1) Thorn-for系作者在康奈尔大学与中国科学院植物研究所编制,并纳入PEP软件包。在修订、汇编与计算过程中得到本所杨莫安高工与孙成永同志的多方协助,谨致谢意。

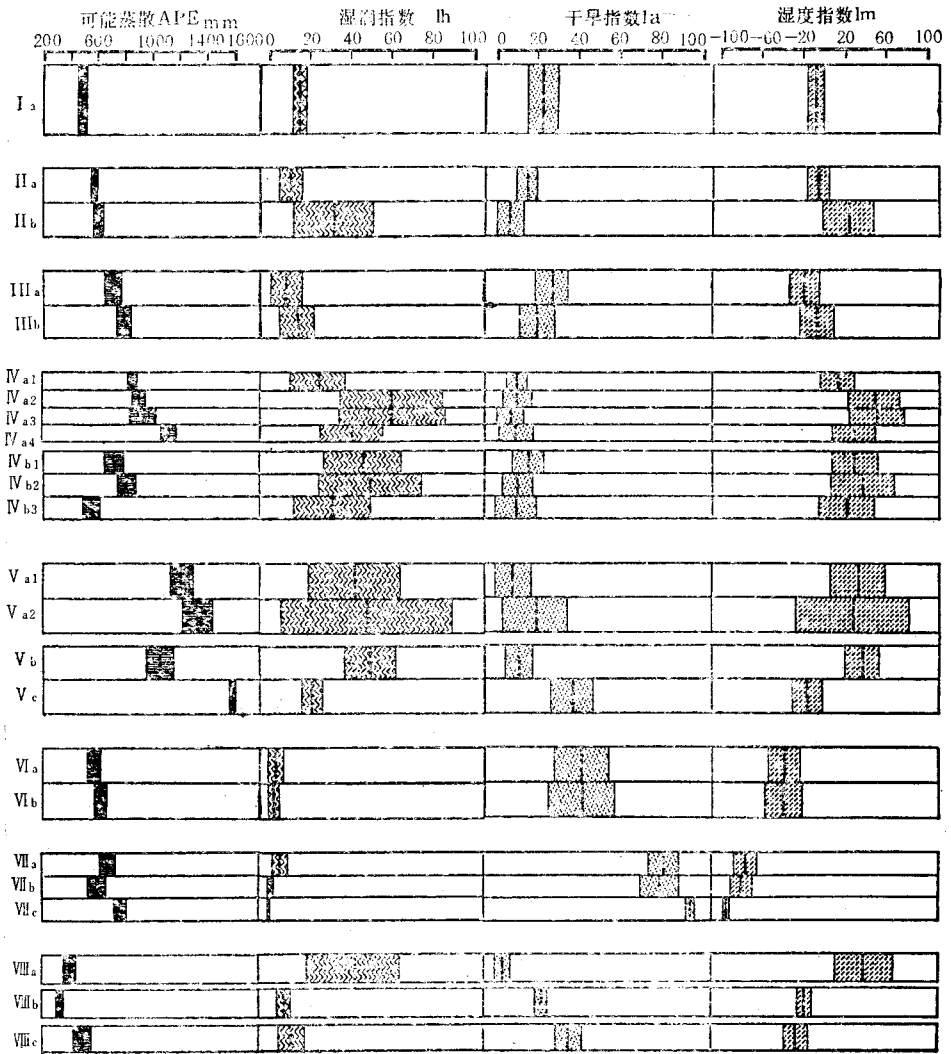


图 3 中国主要植被类型的 Thornthwaite 气候指标的幅度

Fig3. Range of Thornthwaite's climatic indexes for major vegetation types in China

- I. 寒温带针叶林地带 Cold-temperate coniferous forest Zone
 - I_a. 南部山地亚地带 Southern montane subzone
- II. 温带针阔叶混交林地带 Temperate coniferous-broadleaf mixed Forest zone
 - II_a. 北部亚地带 Northern subzone
 - II_b. 南部亚地带 Southern subzone
- III. 暖温带落叶阔叶林地带 Warm-temperate deciduous broadleaf forest zone
 - III_a. 北部亚地带 Northern subzone
 - III_b. 南部亚地带 Southern subzone
- IV. 亚热带常绿阔叶林地带 Subtropical evergreen broadleaf forest zone
 - IV_{a1}. 北部亚地带 Northern subzone
 - IV_{a2}. 中北部亚地带 Mid-north subzone
 - IV_{a3}. 中南部亚地带 Mid-south subzone
 - IV_{a4}. 南部亚地带 Southern subzone

- IVb1. 中西部亚地带 Mid-west subzone
- IVb2. 西南部亚地带 Southwest subzone
- IVb3. 西部山地亚地带 Western Mountain subzone
- V. 热带雨林, 季雨林地带 Tropical rainforest & monsoon Rainforest zone
 - Va1. 北部亚地带 Northern subzone
 - Va2. 南部亚地带 Southern subzone
 - Vb. 西部亚地带 Western subzone
 - Vc. 南海亚地带 Southern sea Atoll subzone
- VI. 温带草原地带 Temperate steppe zone
 - VIa. 北部亚地带 Northern subzone
 - VIb. 南部亚地带 Southern loess plateau Subzone
- VII. 温带荒漠地带 Temperate desert zone
 - VIIa. 西部亚地带 Western subzone
 - VIIb. 东部亚地带 Eastern subzone
 - VIIc. 南部亚地带 Southern warm-temperate subzone
- VIII. 青藏高原高寒植被地区 Tibetan High-cold vegetation District
 - VIIIa. 高寒草甸亚地带 High-cold scrub-meadow subzone
 - VIIIb. 高寒草原亚地带 High-cold steppe subzone
 - VIIIc. 温性草原亚地带 Temperate shrub-steppe subzone

根据计算结果(表1与图3),我国各主要植被类型与 APE , I_m 及气候类型的相关基本特征大致如下:

1. 大兴安岭北方针叶林的 APE 一般在460—520之间,与北美的界线^[7]颇相符合。 I_m 为-17—1,按Thorntwaite的气候分类属于 $C'2C1$,即低温低湿型,表明我国境内的北方针叶林是偏干和偏大陆性的。

2. 东北针阔叶混交林北部的 APE 一般在550—600, I_m 为-14—6, 气候类型为 $B'1(C'2)2C(C1)$,即中(低)温中(低)湿型;南部 APE 为570—650, I_m 为1—50,属 $B'1B1(C1—B2)$,即中温湿润(低湿—湿润)型气候。可见,混交林的热量指标与北美一致,但湿度仍偏低,气候大陆性较强。

3. 华北落叶阔叶林的北部 APE 在650—776之间,南部则为740—850; I_m 在北部为-33—-4,南部为-23—11;气候型北部为 $B'1(B'2)C1$,南部为 $B'1(B'2)C1(C2)$,即中温低湿型。尤其在北部十分干旱,按湿度指标大部应属草原。这对我国华北地区的西北半部(山地除外)究竟是落叶阔叶林还是属于草原提出了质疑。

4. 东亚亚热带常绿阔叶林地带在我国南半部十分广阔,其南北与东西的气候差异很大,森林类型各异。北部亚地带含落叶阔叶树的常绿落叶阔叶混交林的 APE 在813—894之间, I_m 为-3—31,气候型属 $B'2(B'3)C2(C1)—B1$,即中温中湿—湿润型,湿度仍偏低。中部亚地带 APE 在850—1000±, I_m 为25—75(80),气候型 $B'3(B'2—B'4)B2(B1—B4)$,属中温湿润型。南部亚地带为偏热带性的常绿阔叶林, APE 为1066—1184, I_m 为10—53,气候型为 $B'4B1(C2—B2)$,属中温湿润型。西部亚热带 APE 为650—800, I_m 为8—53,属 $B'2B1$,中温湿润型;西南部 APE 为750—870, I_m 为7—71, $B'3(B'2)B(C)$,即中温湿润型。

5. 热带雨林季雨林北部 APE 为1140—1300, I_m 为7—61,南部 APE 为1225—1442, I_m 为-26—86;气候型均为 $A'B(C—A)$,属高温湿润型,但湿度的地区变化很大,由中湿至过湿。热带西部在云南高原南部, APE 为960—1260, I_m 为14—56,气候型 $B'4B2—A$,

仅其南缘为A'高温气候。

6. 温带草原北部APE为525—630, I_m 为-54—-22, 气候型B'1(C'2)D(C1), 属中(低)温半干旱(低湿)型。南部黄土高原部分APE为575—665, I_m 为-57—-20, 具B'1D(C1), 即中温半干旱(低湿)型。

7. 温带荒漠西部的准噶尔的APE为612—746, I_m 为-88—-65, 气候型B'1(C'2)E,

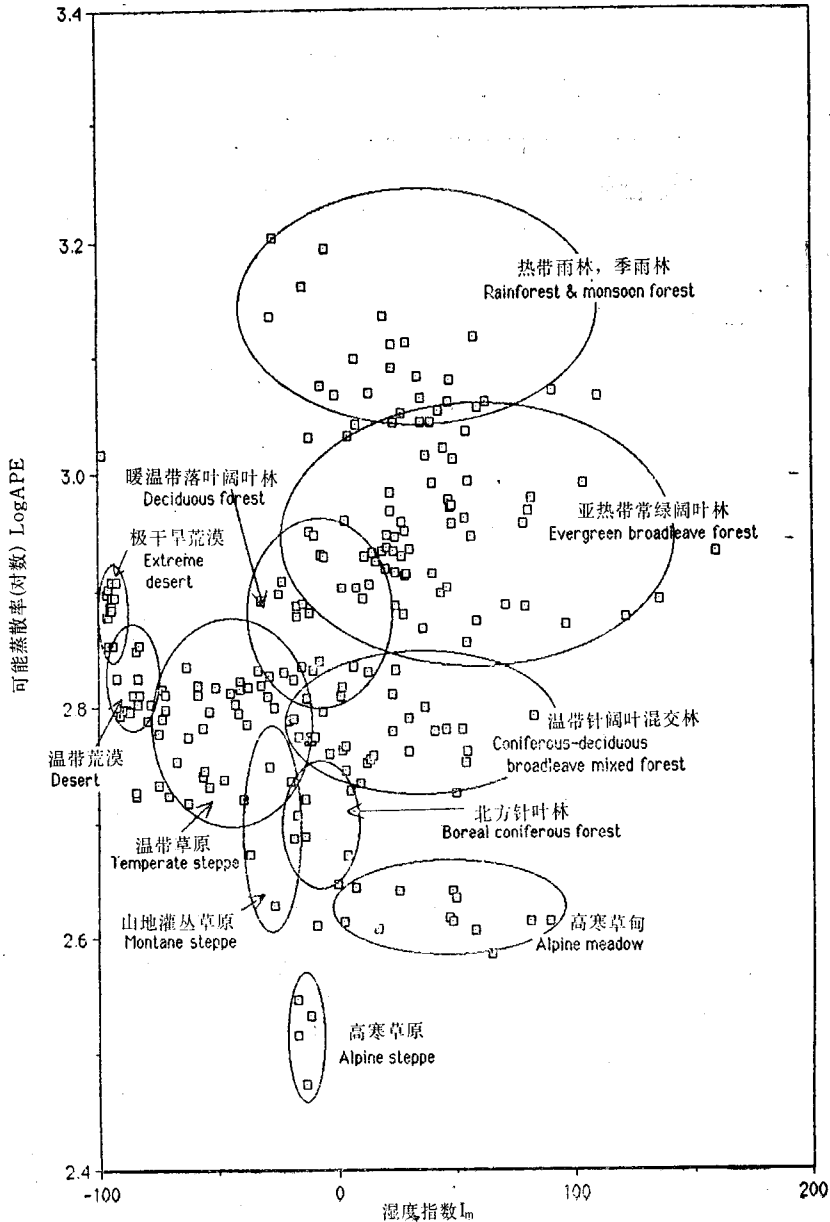


图4 中国主要植被类型与Thornthwaite可能蒸散率(APE)及湿度指数(I_m)的分布图示
Fig.4 A schematic diagram of main vegetation types in accordance with Thornthwaite's potential evapotranspiration (APE) and moisture index (I_m) in China

属中低温干旱型。东部阿拉善荒漠 APE 为 540—660, I_m 为 -90—-69, 气候型 $B'1(C'2)E$, 属中低温干旱型。南疆塔里木盆地大部是极端干旱的暖温带荒漠, APE 为 734—810, I_m 为 -98—-92, 气候型 $B'2E$, 属中温干旱。

8. 青藏高原大部具高寒植被, 其东部的高寒灌丛草甸地带 APE 为 350—450, I_m 14—68, 气候型 $C'2B2-B4$, 为低温湿润型。中部的羌塘高寒草原 APE 为 305—353, I_m 为 -17—-11, 气候型 $C'2C1$, 属低温低湿型。藏南谷地灌丛草原 APE 为 432—552, I_m 为 -36—-14, 气候型 $C'2C1(D)$, 属低温低湿(半干旱)型。

根据在全国选择的 227 代表性气候站的 APE 与 I_m 所作的散点图, 较好地表现了植被类型与气候指标的关系与格局(图 4)。

通过上述计算结果, 我国各主要植被类型的 APE 与 I_m 的界限大致如表 5:

| APE | 植 被 类 型 |
|-------|------------------|
| $D'1$ | 雪线以下的高山稀疏植被 |
| 300 | 高寒荒漠与高山垫状植被等 |
| $C'1$ | 高寒草原与高寒草甸 |
| 450 | |
| $C'2$ | 北方针叶林(落叶松, 樟子松) |
| 520 | 山地寒温带针叶林(云杉, 冷杉) |
| $B'2$ | 温带针阔叶混交林(红松、铁杉) |
| 650 | 半干旱、干旱区为温带草原与荒漠 |
| $B'2$ | 落叶阔叶林(落叶栎类) |
| 850 | 半干旱、干旱区为暖温带草原与荒漠 |
| $B'2$ | |
| $B'2$ | 各类常绿阔叶林与亚热带针叶林 |
| 1140 | |
| $A'1$ | 热带雨林季雨林 |

湿度指标 I_m 在荒漠与草原植被很明显, -66.7 可作为荒漠与草原的界限, 而 -90 可作为极端干旱荒漠与荒漠的界限; 草原地带的上限大致在 -20 上下。但是 I_m 在 -30 至 0 之间是一段交错复杂的生态过渡带(ecotone), 各种森林、灌丛和草地在这里都可以出现, 看来它们是在不同的土壤基质或地形地貌条件下而各得其所, 形成镶嵌结合的植被或景观格局。森林与 I_m 的关系显得很复杂, 各类森林地带内的 I_m 幅度很大, 常跨越几个不同的湿度气候型。这可能是由于地带内的一些干旱的局地台站(如干热谷地、背风的雨影带, 某些海岛等)所引起的, 也可能由于在过渡带中过分划大了森林地带的范围所致, 因而往往在森林地带中发现了一些负值很高的 I_m 。如果不顾这些过分的 I_m 负值, 则各类森林的 I_m 范围大致是: 北方针叶林为 -20—0, 针阔混交林为 0—50, 落叶阔叶林为 -20—10, 常绿阔叶林为 0—80, 热带雨林季雨林为 10—80。与北美及其相邻热带相比, 我国森林地区的湿度条件一般偏低的趋势十分明显。

采用 Thornthwaite 方法初步分析我国植被类型及其地理分布与气候指标的关系如表 6, 表明该方法基本上适用于我国的自然条件, 它较好地表达了植被-气候的相关性规律与分布格局, 应进一步在植被生态与环境研究以及农林牧业生产经营管理中应用与修订。尤其在农作物与树种的栽培气候区划方面使用, 将能发挥有益的效用。

表6 中国主要植被类型的 Thornthwaite 气候指标

Tabl. Thornthwaite's climatic indexes for major vegetation types in China

| 植被地带 | Vegetation zone | | N | 平均值 TRMEAN | 标准差 STDEV | 最低值 MIN | 最高值 MAX |
|-----------------|--|-----|----|---------------|--------------|------------|------------|
| I. 寒温带针叶林地带 | I. Cold-temperate coniferous forest zone | APE | 6 | 487.0 | 29.5 | 443.1 | 527.2 |
| | | Ih | 6 | 14.73 | 2.82 | 10.50 | 18.70 |
| Ia. 南部山地亚地带 | Ia. Southern montane subzone | Ia | 6 | 22.88 | 7.33 | 14.50 | 31.70 |
| | | Im | 6 | -8.15 | 8.76 | -19.30 | 4.20 |
| II. 温带针阔叶混交林地带 | II. Temperate mixed coniferous-broadleaf forest zone | APE | 20 | 575.78 | 26.13 | 513.60 | 616.90 |
| | | Ih | 20 | 11.42 | 5.46 | 5.40 | 22.80 |
| | | Ia | 20 | 15.33 | 5.20 | 7.30 | 23.30 |
| IIa. 北部亚地带 | IIa. Northern subzone | Im | 20 | -4.02 | 9.82 | -16.40 | 14.90 |
| IIb. 南部亚地带 | IIb. Southern subzone | APE | 22 | 607.61 | 40.57 | 532.20 | 674.90 |
| | | Ih | 22 | 32.17 | 19.75 | 6.50 | 85.30 |
| | | Ia | 22 | 6.91 | 6.31 | 0.40 | 22.60 |
| | | Im | 22 | 25.39 | 24.59 | -16.10 | 82.60 |
| III. 暖温带落叶阔叶林地带 | III. Warm-temperate deciduous broadleaf forest zone | APE | 48 | 713.42 | 63.02 | 616.60 | 828.70 |
| | | Ih | 48 | 8.68 | 8.31 | 1.90 | 45.30 |
| | | Ia | 48 | 27.46 | 8.12 | 9.90 | 41.90 |
| IIIa. 北部亚地带 | IIIa. Northern subzone | Im | 48 | -18.58 | 14.89 | -39.90 | 35.40 |
| IIIb. 南部亚地带 | IIIb. Southern subzone | APE | 47 | 795.05 | 53.76 | 673.80 | 871.20 |
| | | Ih | 47 | 13.84 | 8.99 | 2.80 | 35.60 |
| | | Ia | 47 | 20.02 | 8.78 | 5.60 | 37.20 |
| | | Im | 47 | -6.09 | 17.02 | -34.10 | 30.00 |
| IV. 亚热带常绿阔叶林地带 | IV. Subtropical evergreen broadleaf forest zone | APE | 30 | 853.57 | 40.61 | 746.50 | 907.30 |
| | | Ih | 30 | 24.16 | 13.17 | 9.30 | 63.70 |
| IVa1. 北部亚地带 | IVa1. Northern subzone | Ia | 30 | 10.165 | 5.189 | 0.000 | 21.100 |
| | | Im | 30 | 14.06 | 17.14 | -11.70 | 63.70 |
| IVa2. 中北部亚地带 | IVa2. Mid-north subzone | APE | 84 | 900.83 | 50.51 | 727.20 | 987.50 |
| | | Ih | 84 | 60.45 | 25.12 | 12.50 | 111.00 |
| | | Ia | 84 | 10.518 | 6.769 | 0.000 | 25.000 |
| | | Im | 84 | 49.56 | 24.54 | 3.40 | 110.10 |
| IVa3. 中南部亚地带 | IVa3. Mid-south subzone | APE | 48 | 940.2 | 98.0 | 716.3 | 1091.4 |
| | | Ih | 48 | 60.03 | 25.94 | 18.50 | 136.20 |
| | | Ia | 48 | 7.136 | 6.396 | 0.000 | 28.400 |
| | | Im | 48 | 52.33 | 26.67 | 10.80 | 136.20 |
| IVa4. 南部亚地带 | IVa4. Southern subzone | APE | 32 | 1124.8 | 59.0 | 1005.4 | 1215.2 |
| | | Ih | 32 | 40.90 | 15.58 | 4.90 | 73.00 |
| | | Ia | 32 | 9.84 | 8.22 | 0.00 | 31.80 |
| | | Im | 32 | 30.86 | 21.63 | -26.80 | 68.90 |
| IVb1. 中西部亚地带 | IVb1. Mid-west subzone | APE | 21 | 723.7 | 72.7 | 624.4 | 912.4 |
| | | Ih | 21 | 46.32 | 19.36 | 1.80 | 86.40 |
| | | Ia | 21 | 15.58 | 7.94 | 3.30 | 29.00 |
| | | Im | 21 | 30.59 | 22.41 | -21.00 | 79.40 |
| IVb2. 西南部亚地带 | IVb2. Southwest subzone | APE | 9 | 810.2 | 59.8 | 741.7 | 889.8 |
| | | Ih | 9 | 49.68 | 25.57 | 12.30 | 97.30 |
| | | Ia | 9 | 10.70 | 7.34 | 0.80 | 21.50 |
| | | Im | 9 | 39.0 | 31.8 | -9.2 | 96.4 |
| IVb3. 西部山地亚地带 | IVb3. Western mountain subzone | APE | 13 | 558.0 | 61.7 | 482.0 | 689.9 |
| | | Ih | 13 | 31.07 | 19.07 | 3.70 | 65.50 |
| | | Ia | 13 | 10.38 | 10.03 | 0.50 | 35.50 |
| | | Im | 13 | 21.60 | 27.44 | -31.70 | 55.00 |
| V. 热带雨林, 季雨林地带 | V. Tropical rainforest & monsoon forest zone | APE | 22 | 1218.2 | 80.1 | 1140.3 | 1430.7 |
| | | Ih | 22 | 42.51 | 22.21 | 1.80 | 80.20 |
| Va1. 北部亚地带 | Va1. Northern subzone | Ia | 22 | 8.84 | 8.59 | 1.40 | 34.50 |
| | | Im | 22 | 33.74 | 27.46 | -32.80 | 77.30 |
| Va2. 南部亚地带 | Va2. Southern subzone | APE | 5 | 1333.8 | 108.5 | 1163.1 | 1454.2 |
| | | Ih | 5 | 48.2 | 41.3 | 7.7 | 113.8 |
| | | Ia | 5 | 19.12 | 15.92 | 1.70 | 35.80 |
| | | Im | 5 | 29.2 | 56.0 | -29.0 | 107.8 |

| | | | | | | | |
|------------------------------------|---|-----|----|---------|--------|---------|---------|
| Vb. 西部亚地带 | Vb. Western subzone | APE | 6 | 1057.3 | 100.5 | 918.4 | 1201.5 |
| | | Ih | 6 | 50.32 | 12.35 | 26.10 | 60.80 |
| | | Ia | 6 | 11.02 | 6.42 | 2.60 | 17.80 |
| | | Im | 6 | 39.30 | 16.59 | 8.20 | 54.20 |
| Vc. 南海亚地带 | Vc. South Sea atoll subzone | APE | 2 | 1586.6 | 21.3 | 1571.5 | 1601.6 |
| | | Ih | 2 | 21.50 | 4.67 | 18.20 | 24.80 |
| | | Ia | 2 | 37.00 | 10.75 | 29.40 | 44.60 |
| | | Im | 2 | -15.5 | 15.4 | -26.4 | -4.6 |
| VI. 温带草原地带 VIa. 北部亚地带 | VI. Temperate steppe zone VIa. Northern subzone | APE | 36 | 576.70 | 51.93 | 481.40 | 652.40 |
| | | Ih | 36 | 3.272 | 3.744 | 0.700 | 19.800 |
| | | Ia | 36 | 41.86 | 13.59 | 15.50 | 66.70 |
| | | Im | 36 | -38.27 | 15.68 | -65.40 | -2.60 |
| VIb. 南部亚地带 | VIb. Southern subzone | APE | 35 | 618.99 | 45.46 | 515.20 | 696.90 |
| | | Ih | 35 | 3.048 | 2.305 | 0.300 | 10.000 |
| | | Ia | 35 | 41.95 | 16.56 | 11.80 | 73.70 |
| | | Im | 35 | -38.91 | 18.48 | -73.20 | -1.90 |
| VIc. 西部亚地带 | VIc. Western subzone | APE | 4 | 537.1 | 44.0 | 530.0 | 628.7 |
| | | Ih | 4 | 7.57 | 3.42 | 2.80 | 10.80 |
| | | Ia | 4 | 78.80 | 3.26 | 75.40 | 83.10 |
| | | Im | 4 | -71.25 | 3.00 | -74.70 | -67.60 |
| VII. 温带荒漠地带 VIIa. 西部亚地带 | VII. Temperate desert zone VIIa. Western subzone | APE | 11 | 679.1 | 66.7 | 599.9 | 797.3 |
| | | Ih | 11 | 6.34 | 4.18 | 1.70 | 13.70 |
| | | Ia | 11 | 82.88 | 7.41 | 69.50 | 91.00 |
| | | Im | 11 | -76.31 | 11.26 | -88.30 | -58.70 |
| VIIb. 东部亚地带 | VIIb. Eastern subzone | APE | 16 | 600.3 | 58.6 | 500.9 | 667.3 |
| | | Ih | 16 | 1.121 | 1.703 | 0.200 | 5.900 |
| | | Ia | 16 | 80.39 | 9.19 | 65.70 | 92.60 |
| | | Im | 16 | -79.20 | 10.23 | -92.50 | -60.50 |
| VIIc. 南部亚地带 | VIIc. Southern subzone | APE | 22 | 772.46 | 37.84 | 666.10 | 821.30 |
| | | Ih | 22 | 0.3050 | 0.4205 | 0.0000 | 1.8000 |
| | | Ia | 22 | 95.500 | 2.216 | 88.400 | 98.500 |
| | | Im | 22 | -95.185 | 2.532 | -98.400 | -86.600 |
| VIII. 青藏高原高寒植被地区 VIIIa. 高寒草甸亚地带 | VIII. Tibetan high-cold vegetation district VIIIa. Alpine meadow | APE | 22 | 401.7 | 48.7 | 338.1 | 517.0 |
| | | Ih | 22 | 44.33 | 24.06 | 8.20 | 93.00 |
| | | Ia | 22 | 2.790 | 4.267 | 0.000 | 14.300 |
| | | Im | 22 | 41.09 | 27.12 | 3.00 | 93.00 |
| VIIIb. 高寒草原亚地带 | VIIIb. Alpine steppe | APE | 4 | 329.5 | 23.9 | 297.0 | 352.3 |
| | | Ih | 4 | 8.07 | 3.14 | 4.90 | 12.40 |
| | | Ia | 4 | 22.77 | 2.87 | 19.20 | 25.60 |
| | | Im | 4 | -14.65 | 2.79 | -17.10 | -11.50 |
| VIIIc. 温性草原亚地带 | VIIIc. Temperate steppe | APE | 7 | 492.3 | 59.8 | 407.1 | 560.6 |
| | | Ih | 7 | 11.84 | 6.49 | 3.30 | 20.70 |
| | | Ia | 7 | 36.90 | 6.01 | 24.30 | 42.60 |
| | | Im | 7 | -25.04 | 10.99 | -39.30 | -8.60 |

参 考 文 献

- [1] 陶诗言, 1949; 中国各地水分需要量之分析与中国气候区域之新分类. 气象学报, 20, 竺可桢先生六十寿辰纪念专号.
- [2] 朱炳海, 1962; 中国气候, 科学出版社.
- [3] 张家诚、林之光, 1985; 中国气候, 上海科学技术出版社.
- [4] Carter, D. B. and J. R. Mather, 1966; Climatic classification for environmental biology, Publications in Climatology, 10(4).
- [5] Chang, D. H. S. and H. G. Gauch, Jr., 1986; Multivariate analysis of plant communities and environmental factors in Ngari, Tibet, Ecology, 67(6) 1568-1575.
- [6] Chang, J. U., 1968; Climate and Agriculture, An Ecological Survey. Aldin Publishing Company, Chicago.
- [7] Hare, F. K., 1954; The boreal conifer zone, Geographical Studies, 1(1) 4-18.
- [8] Mather, J. R. and G. A. Yoshioka, 1968; The role of climate in the distribution of vegetation,

- Annals of the Association of American Geographers, 58, March: 29—41.
- [9] Meigs, P., 1953: World distribution of arid and semiarid homoclimates. in: Review of Research on Arid Zone Hydrology, Arid Zone Programme, UNESCO, Paris, 1: 203—209.
- [10] Soil Survey Staff, 1975: Soil Taxonomy, Soil Conservation Service, U. S. Department of Agriculture.
- [11] Strahler, A. N. and A. H. Strahler, 1978: Modern Physical Geography, John Wiley & Sons Inc., New York.
- [12] Thornthwaite, C. W., 1948: An approach toward a rational classification of climate. Geographical Review, 38: 57—94.
- [13] ——— and F. K. Hare, 1955: Climatic classification in forestry, Unasylva, 9(2)51—59.
- [14] ——— and J. R. Mather, 1957: Instructions and Tables for Computing Potential Evapotranspiration and the Water Balance, Publication in Climatology, 10(3)182—311.

THE POTENTIAL EVAPOTRANSPIRATION (PE) INDEX FOR VEGETATION AND VEGETATION-CLIMATIC CLASSIFICATION (2)-AN INTRODUCTION OF MAIN METHODS AND PEP PROGRAM

Chang Hsin-shih

(Institute of Botany, Academia Sinica)

Abstract

Thornthwaite's method on calculating PE and climatic classification has been applied on computing data from 671 climatological observation stations in China. A geographic regression model of potential evapotranspiration is resulted as $APE = 2037.98 - 18.8308 \text{ LAT} - 4.5801 \text{ LONG} - 0.157861 \text{ ALT}$. The resulted APE and moisture index, Im are closely correlated with the major vegetation types and their distribution pattern in China. The bounds of thermal coefficient (APE) for the vegetation in China fits in quite well with which in North America, but the Im is evidently lower than there. That just is a reflection of the ecological characteristics for vegetation of China. The research makes known that the method should have a broad prospect for application in the country.

Key words Thornthwaite; Potential evapotranspiration; Moisture index; Vegetation-climatic classification.