

# 山体基面高度的提取方法 ——以台湾岛为例

张朔<sup>1,2</sup>, 姚永慧<sup>1</sup>, 庞宇<sup>1,2</sup>, 赵芳<sup>1,2</sup>, 齐文文<sup>1,2</sup>, 张百平<sup>1\*</sup>

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所 资源与环境信息系统国家重点实验室, 北京 100101;

2. 中国科学院大学, 北京 100049)

**摘要:** 山体基面高度的差异影响山体自身对其水热条件的再分配, 进而影响山地垂直带谱的结构和分布, 是决定垂直带分布高度的重要因子之一。目前, 山体基面高度还没有一个准确科学的定义, 也缺乏一个有效的数字化、量化提取方法。本文以台湾岛为例, 使用 30m 分辨率的 ASTER GDEM 数据, 提出了一种提取山体基面高度的方法。首先, 以地形特征与水文特征提取方法获得主山脊线与主山谷线, 然后, 以地形地貌单元自动提取方法获得山体轮廓界线, 再依据提取出的主山脊线、山体轮廓界线及主山谷线, 划分山体基面高度分区, 依据山体基面分布特征确定各分区的基面高度值, 将台湾山地划分出 6 个不同的山体基面高度(0m、150m、200m、600m、630m 和 650m)。该方法为大范围山体基面高度的快速、准确提取, 以及山体效应定量化研究提供了重要的技术支撑。

**关键词:** 山体基面高度; 地形特征提取; 台湾; 山体效应; 山地

**DOI:** 10.3724/SP.J.1047.2012.00562

## 1 引言

山体基面高度(Mountain Basal Elevation)是山系/高原不同部分所在的起始海拔高度。山体的不同侧翼, 基面高度往往不同; 山系内外, 基面一般具有明显差异, 而且内部的基面高度往往比外围的基面高度要高。这种差异使得同一海拔高度上山体内部温度比外部高, 进而影响到山地垂直带谱的结构和分布差异<sup>[1]</sup>。20 世纪初, 在研究美国西部 Santa Catalina 和 Pinaleno 山地生态结构时, 人们就注意到随着山体基面高度的增加, 垂直带分布也呈上升趋势<sup>[2-5]</sup>。早在 1904 年, 人们将阿尔卑斯山观察到的这种现象称之为山体效应(Mass Elevation Effect, Massenerhebung Effect)<sup>[6-7]</sup>, 故山体基面高度的重要性就在于其与山体效应存在着紧密的联系<sup>[8-10]</sup>, 在很多情况下, 甚至可以使用山体基面高度来代表山体效应, 探讨山体效应对雪线与林线高度分布的重要影响等<sup>[4, 11]</sup>。同时, 山体基面高度的作用受气候条件和海陆位置影响相对较小, 对山地垂直带分布高度的影响相对独立和稳定, 具有非

地带性的特点, 在较大尺度上山体基面高度对雪线与林线分布的影响甚至超过了纬度的作用, 而成为决定林线、雪线高度的重要因子<sup>[4-11]</sup>。

山地结构的复杂性导致山体基面高度的分布呈现复杂的状态, 山体所隆起的基面并不一定是平面。因此, 山体的不同侧翼可能会有不同的基面高度, 典型的如喜马拉雅山脉, 其南坡隆起于印度次大陆而北坡则隆起于青藏高原<sup>[12]</sup>, 很明显, 南北两坡的基面高度是完全不同的。而且, 同一山脉的同一侧翼可能具有不同的基面高度。同时, 整个山系由外围向内部海拔逐渐升高, 不同山体的基面也随之升高, 因此, 山体基面高度也呈阶梯状升高的变化趋势。

前人的工作中没有给山体基面高度一个科学准确的定义<sup>[11]</sup>, 且对于如何数字化、量化地确定和提取山体基面高度, 缺乏有效的方法<sup>[4]</sup>, 特别在地形复杂、沟谷纵横的山区。人工手动提取存在标准不统一的问题, 易产生一定的误差。

确定山体基面高度的关键在于明确山体基面高度的特点:

**收稿日期:** 2012-06-19; **修回日期:** 2012-08-30.

**基金项目:** 国家自然科学基金重点项目(41030528)和面上项目(40971064)。

**作者简介:** 张朔(1983-), 男, 河北人, 博士研究生。研究方向: 山地生态与 GIS 应用。E-mail: zhangshuo@reis.ac.cn

\* **通讯作者:** 张百平(1963-), 男, 研究员, 博士生导师。研究方向: 山地学与 GIS 应用。E-mail: zhangbp@reis.ac.cn

(1)山体基面是相对于在其上隆起的山体而言的,基面可能是平原、高原,也可以是宽大山谷、断裂带,甚至可能是大型台地或其他的大块山体;

(2)山体基面高度是相对于山体而言,因此,基面高度所在位置不应处于该基面所影响的山体之内;

(3)山系中的不同山脉,山脉的不同侧翼,甚至同一山脉同一侧翼的不同段可能存在不同的山体基面高度;

(4)山体基面高度由大山系外围向内部一般呈阶梯状逐渐升高的趋势;

(5)山体基面高度是适宜于大尺度的研究范畴。

台湾岛约有 2/3 的面积属于山地,其中,海拔超过 3500 以上的山峰共有 22 座,岛内分布有北东向的五条主要山脉,分别是位于北方的雪山山脉,中部偏西南的阿里山山脉,中部偏南的玉山山脉,贯穿全岛的中央山脉与东部的台东山脉<sup>[13]</sup>。台湾山地纵横排列,其沟谷关系复杂,可代表大部分山地形态和基面高度分布的差异性,是分析及提取山体基面高度的理想对象。故本文以台湾山地为例,探讨山体基面高度的提取方法,分析其可行性与适用性。

## 2 山体基面高度提取方案与实现

本文的研究思路是:以数字高程模型(Digital Elevation Model, DEM)数据作为源数据,以山体基面高度的特点为依据,先划分山体基面高度分区,然后确定各分区的基面高度值。

### 2.1 提取方案

(1)基于地形与水文特征提取主山脊线,主山谷线,以及山体轮廓界线等山地结构特征描述信息;

(2)以山体基面高度的特点,针对区域地貌结构特征进一步细化,从而实现山体基面高度的提取。

鉴于此,本文设计了相关计算流程,如图 1 所示。

### 2.2 方案的实现

2.2.1 山地结构特征提取:山地结构特征主要包括主山脊线、主山谷线以及山体轮廓界线。对于提取各地形因子的方法前人已经做了很多的研究和

探讨<sup>[14-20]</sup>,在此不作赘述。

本文采取地形特征分析与水文特征分析<sup>[21]</sup>相结合的方法,提取山脊线与山谷线,其流程如图 2 所示。

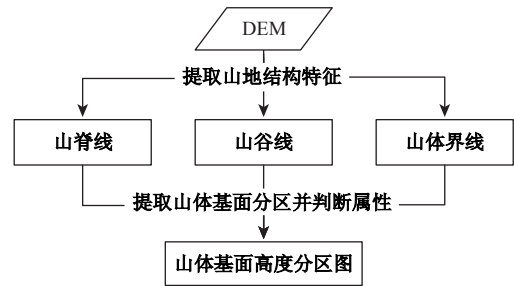


图 1 山体基面高度分区提取流程图

Fig. 1 Flow chart of mountain basal elevation extraction

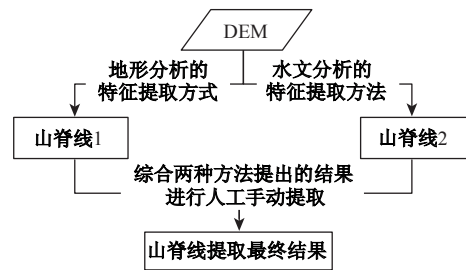


图 2 山脊线提取流程图

Fig. 2 Flow chart of mountain ridge line extraction

山脊线的提取流程:

(1)以地形特征分析方法提取山脊线。

① 利用 DEM 计算坡向变率 SOA (Slope of Aspect);

② 使用 Neighborhood Statistics 工具,设置 Statistic type 为平均值,邻域窗口为 3×3 的矩形,求出平均地形,记为 MeanDEM;

③ 用式(1)求出山脊线分布范围。

$$\text{RidgeLine} = (([\text{DEM}] - [\text{MeanDEM}]) > 0) \& . \text{SOA} > 70 \quad (1)$$

(2)利用水文特征提取山脊线,即依据山脊所在地水的汇流积累量为零的特点来提取山脊线的分布范围。提取流程见图 3 所示。

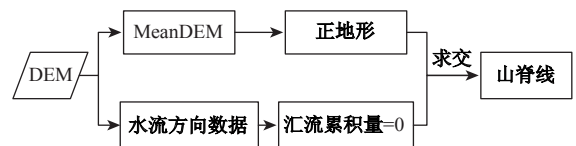


图 3 基于水文特征提取山脊线

Fig. 3 Flow chart of mountain ridge line extraction by hydrological analysis

使用 Neighborhood Statistics 工具, 设置 Statistic type 为平均值, 邻域窗口为  $3 \times 3$  的矩形, 求出平均地形, 记为 MeanDEM, 其中正地形为  $([DEM] - [MeanDEM] > 0)$  的部分。

(3) 综合两种方法提取的结果, 手动删除多余的小山脊线, 最终确定主山脊线的分布。流程如图 4 所示。

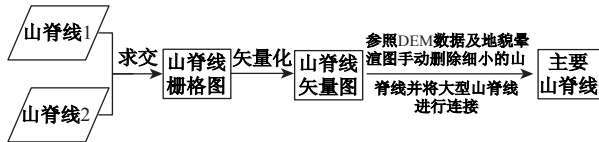


图 4 综合提取山脊线示意图

Fig. 4 Sketch map of mountain ridge line extraction by the two methods

将 2 种方法提取得出结果求交, 将结果矢量化为 PolyLine 格式数据, 参考由 DEM 生成的等值线图、地貌晕渲图, 判断图中各线条是否为主山脊线, 若是则保留, 并依据距离及走向判断是否将其连接为同一条山脊; 如不是则删除, 需要删除平原中的所有线条。

山谷线利用 DEM 汇流积累的方法进行提取, 经过多次测试, 当阈值为 100 000m 时效果较好, 之后参照地貌图人工修改结果, 删除平原中的汇水线, 即可得到主山谷线, 此方法较简单, 不再赘述。

山体轮廓界线的提取较简单, 山体轮廓界线与山地/平原分界线类似, 但略有不同; 山地/平原分界线将山地和平原分割开来, 山地之中还包括宽大沟谷、台地乃至高原, 山体基面是可以分布在这些地方的。因此, 需要的是山体轮廓界线, 即只将山体与非山体分割开来, 便于山体基面高度的划分。

基于肖飞提出的地貌实体单元的提取方法<sup>[16]</sup>, 在其基础上针对山体基面分布特征进行修改, 且山体基面高度是个大尺度的概念, 故此, 只提取大型的山体, 小型的山体应并入大型山体, 流程见图 5 所示。

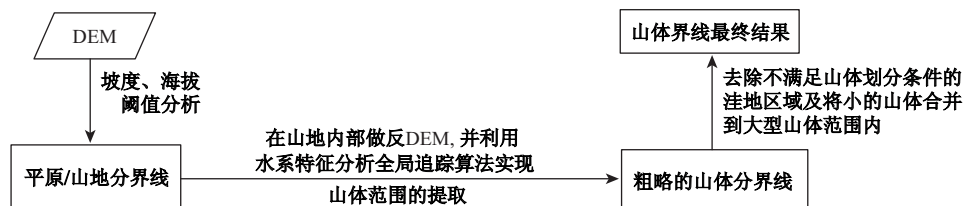


图 5 山体轮廓界线提取流程图

Fig. 5 Flow chart of mountain boundaries extraction

提取过程中需要注意如下几点:

① 一般地形中提取山地/平原分界线, 通常将坡度阈值定为  $7 \sim 10^\circ$ <sup>[22]</sup>, 由于台湾多山且坡度较大, 因此, 提取山体轮廓界线时, 坡度阈值设置为  $9^\circ$ , 粗略区分山地/平原分界线后再根据分区面积阈值, 将面积小于  $6 \text{ km}^2$  的分区合并到大的分区中;

② 利用水文特征分析方法细分山体界限, 要将 DEM 翻转成为反 DEM;

③ 去除不满足山体划分条件的洼地即将小的山体合并至大山体的过程中, 要去掉反 DEM 中无汇水作用, 以及深度较小的洼地, 即去掉 DEM 中的小型山体。该过程可利用填洼算法完成, 本文利用 ArcMap 提供的栅格计算器, 使用 Con() 与 Zonal-range() 方法实现对反 DEM 数据进行有选择的洼地填充。设反 DEM 为 antiDEM, 经过填洼(Fill)处理后的反 DEM 为 FilledAntiDEM。则选择性填洼的公式如式(2)所示:

$$\text{Con}(\text{Zonalrange}(\text{FilledAntiDEM}) > \text{tolerance}, \text{antiDEM}, \text{FilledAntiDEM}) \quad (2)$$

即利用区域统计函数计算填充后的 antiDEM 与填充前 antiDEM 的高程差的最大值, 其中, tolerance 为该最大值的阈值, 如最大值大于阈值, 则该填充区保留原始 antiDEM 的高程值, 否则以填洼后的高程值(FilledAntiDEM)进行替换。经过处理, 不满足山体划分条件的小山体与其邻接大山体相互连通, 组合形成新的山体;

④ 小山体合并到大山体中后, 要对最终的边界线手动处理, 以免出现碎屑多边形等后续问题。

2.2.2 分区并判断属性。山体基面高度分区边界, 主要以主山脊线与山体轮廓界线为主, 主山谷线作为控制线。将 3 个数据同时显示, 就可勾划出山体基面分布的大体框架。

分区依据如下:

(1) 山体轮廓界线以外的部分单独分为一区;

(2)以山脊线为界,左右各为一区;

(3)山谷线与盆地的边界作为分区边界的控制线;

(4)仍未闭合的区域,则采取就近原则,将区域闭合处理。如开口不大,可用折线段直接连接将区域闭合。

山体基面高度分区已定,下一步就是要确定各分区山体基面高度值。根据山体基面分布特点,山体基面应该处在其影响的山体不同部分的起始海拔处,如大型沟谷、台地、断裂带、平原甚至高原等,经分析,存在如下几种情况:

(1)分区中山谷线海拔陡升,则以主山谷线与山体基面高度分区线交点处海拔为该分区属性。如有多个主山谷线,且各山谷线海拔高度相差不大,则取其均值;如相差较大,则考虑细化该分区;

(2)如分区内为两山平行,形成一个宽大且较为平坦的地貌,如台东山脉与中央山脉之间的断裂带,则该区山体基面高度为该宽大地貌区域内的海拔均值;

(3)如分区边界只有一边为山脉而其他为台地、谷地、平原或是高原,则以该台地、谷地、平原或高原的海拔为其山体基面高度值;

(4)其余地区,因其直接隆起于平原,则以平原的海拔为其基面高度。

## 2.3 台湾岛山体基面高度的提取

采用 30m 分辨率的 ASTER GDEM 数据,软件环境为 ArcGIS Desktop 10。为了方便进行坡度计算,将投影转换至 Beijing1954 坐标系,提取的结果分步骤如下所述:

### 2.3.1 地形因子的提取

(1)提取山脊线与山谷线,即以地形特征与水文特征分别提取,并将上述两个结果求交,并参照地貌图、等高线等数据手动调整,即可得到山脊线的最终结果。

山谷线提取使用汇水量阈值方法提取,中央山脉与台东山脉之间虽为断裂带,但其在台湾众山系中的作用与宽大山谷类似,因此,也将其划为山谷对待。

山脊线与山谷线提取的最终结果如图 6 所示。

(2)提取山体界限,首先要区分山区和平原,使用坡度阈值为  $9^{\circ}$  的方法先粗略分类,之后将面积小于  $6\text{km}^2$  的小型分区合并到周围的大分区之内,再以水文特征分析合并小山体,经过多次试验,Zonal-range 的阈值为 530m 时,填充效果最好。之后手动

修改所提取的边界,在不影响分界走向及趋势的前提下尽量使数据简单,例如使用折线段代替走向基本固定的曲线段。

山体轮廓界线最终结果如图 7 所示。

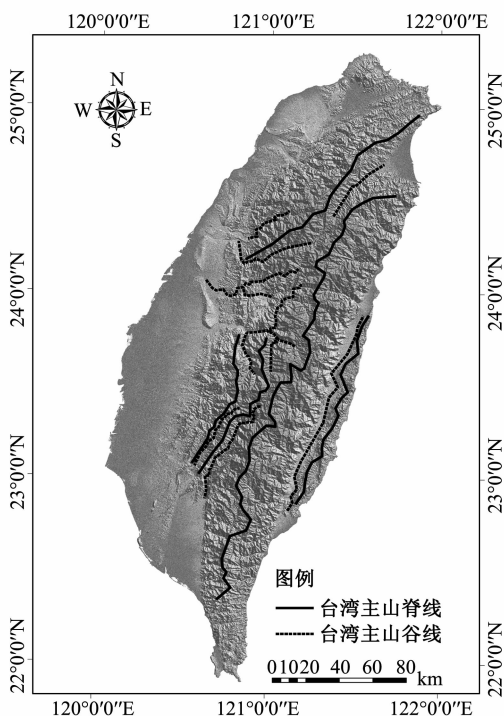


图 6 台湾主要山脉及山谷示意图

Fig. 6 Main ridge-line and valley line of Taiwan

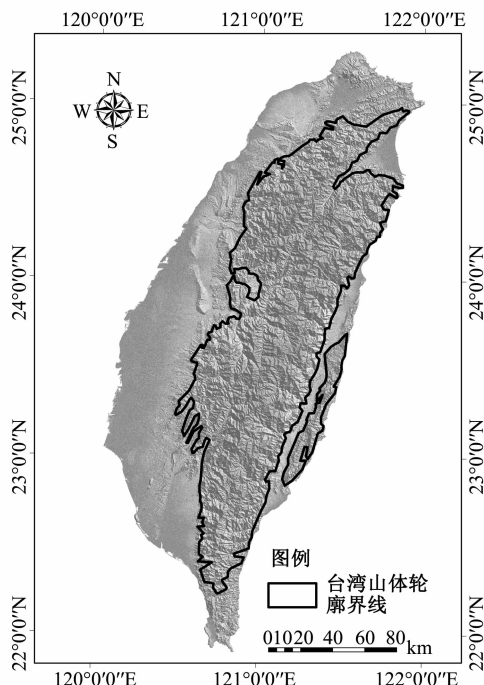


图 7 台湾山体轮廓界线示意图

Fig. 7 Mountain boundaries of Taiwan

### 2.3.2 台湾山体基面高度分区

将山脊线、山谷线与山体轮廓界线叠加显示,可以清楚地看到台湾山体分布的大致情况,如图 8 所示。根据山体基面高度分区,并依照山体基面分布特征确定各个分区的山体基面高度值,结果如图 9 所示,不同颜色代表不同的分区,为方便识别与使用,将临近且具有相同基面高度的分区合并为一区,并以数字标明。

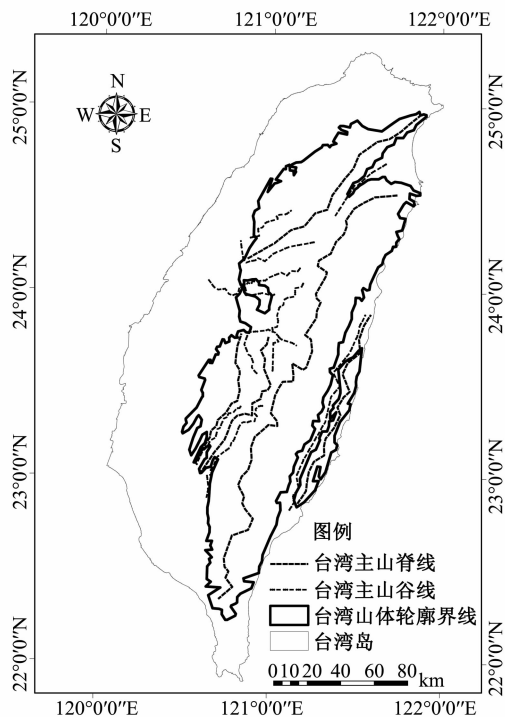


图 8 台湾山体轮廓界线、主山脊线与主山谷线示意图

Fig. 8 Main ridge-line, main valley-line and mountain boundaries of Taiwan

(1) 分区①、⑤、⑥中山谷线海拔陡升,应以主山谷线与山体基面高度分区线交点处海拔为该分区山体基面高度值。例如,分区①相关的 4 条山谷的海拔分别为 620m、610m、650m 与 640m,相差不大,则取其均值为 630m;

(2) ②、③、⑧分区直接隆起于平原,则应以平原的海拔为其基面高度,而台湾除山区外,其平地海拔都很低,因此可忽略不计,默认其山体基面高度为 0;

(3) 分区④边界只有一边为山脉而以西为台中盆地,盆地边缘的海拔高度为 200m,则其山体基面高度值即为 200m;

(4) 如分区内为两山平行,形成一个宽大且较为平坦的地貌,如台东山脉与中央山脉之间的断裂带,

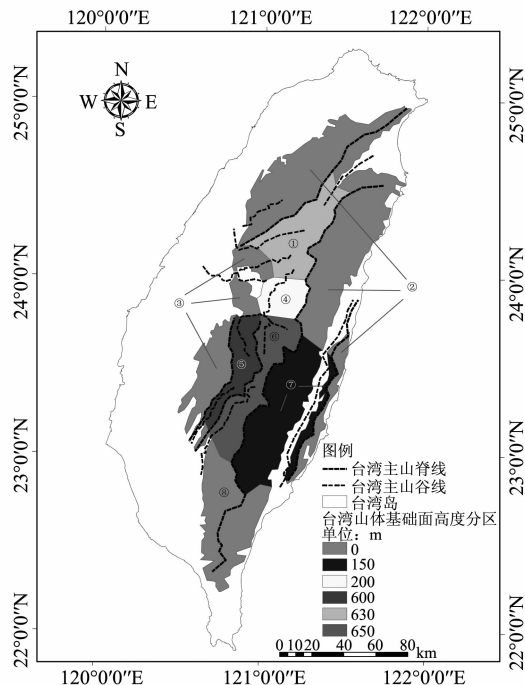


图 9 台湾山体基面高度分区示意图

Fig. 9 Result of mountain basal elevation extraction

该区山体基面高度为该宽大山谷区域内的海拔均值,分区⑦为此种情况,台东断裂带比较平缓,海拔由 100m 逐渐上升至 200m,取其海拔均值为 150m。

### 2.4 山体基面高度提取结果分析

本文总结了山体基面高度特征,并以其为基础,利用各地形因子进行山体基面高度提取,能够较好地体现山体基面分布,反映山体的基本状态。与之前的山体基面高度提取方法相比,该方法在标准化与科学化上前进了一大步。能够遵循一定的依据及标准对山体基面高度进行提取,为之后的山体效应量化研究打下基础。

同时,由于台湾山系没有大型台地或高原,没能在具体方法内介绍具有台地及高原的处理方法,尤其是特点中的第四条,台湾众多山脉组成的山系并没有明显的体现出山系由外而内山体基面高度成呈阶梯状升高的现象,但从图 9 可以看出分区①、④、⑥的基面高度比其周围的分区要高,在一定程度上体现了基面高度分布的特点。

## 3 结论

本文提出了一套以山脊线,山体轮廓界线为

主,山谷线为辅的提取山体基面高度的方法,将台湾山区划分为 8 个分区,按照基面高度值区分,共有 0m、150m、200m、600m、630m 和 650m 6 个大区(参照图 9),该结果能够准确代表台湾山体基面高度的分布状况。

由于山体结构的复杂性以及地形因子提取算法的局限性,本文提出的山体基面高度提取方法尚有不完备之处。今后需考虑更多的山体结构及分布情况,挑选各种有代表性山系进行分析,完善山体基面高度的提取方法。诸如,某山脉离开大块山体,独自深入平原或高原,该山脉露头部分的基面高度该如何判定;不同类型谷地的处理方式等,都需要更详细的讨论与研究。

另文中方法对复杂山地进行山体基面高度提取还存在困难,提取的标准和依据还需要进一步完善。在山区基面高度提取过程中,尚需要人工参与,对未闭合的分区进行人工调整。在以后的研究中拟进一步分析算法,增加其他地形因子指标,以推进山体基面高度提取及属性确定的准确性和科学性。

#### 参考文献:

- [1] 张百平, 谭靖, 姚永慧, 等. 山地垂直带信息图谱研究 [M]. 北京: 北京环境科学出版社, 2009.
- [2] Shreve F. Conditions indirectly affecting vertical distribution on desert mountains[J]. *Ecology*, 1922, 3(4): 269 - 274.
- [3] Chen L X, Reiter E R and Feng Z Q. The atmospheric heat-source over the Tibetan Plateau-May-August 1979 [J]. *Monthly Weather Review*, 1985, 113(10): 1771 - 1790.
- [4] Han F, Zhang B P, Yao Y H, *et al.* Mass elevation effect and its contribution to the altitude of snowline in the Tibetan Plateau and surrounding areas[J]. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 2011, 43(2): 207 - 212.
- [5] Hall J B. *Juniperus excelsa* in Africa: A biogeographical study of an Afromontane tree[J]. *Journal of Biogeography*, 1984, 11(1): 47 - 61.
- [6] Quervain A d. Die Hebung der atmosph? rischen Isothermen in der Schweizer Alpen und ihre Beziehung zu deren H? henggrenzen [J]. *Gerlands Beitr. Geophys.*, 1904, 6: 481 - 533.
- [7] Grubb P J. Interpretation of Massenerhebung Effect on tropical mountains[J]. *Nature*, 1971, 229(5279): 44.
- [8] 郑度, 李炳元. 青藏高原自然地理研究的进展[J]. *地理学报*, 1990, 45(2): 235 - 244.
- [9] Jobbagy E G and Jackson R B. Global controls of forest line elevation in the northern and southern hemispheres [J]. *Global Ecology & Biogeography*, 2000, 9: 253 - 268.
- [10] Hedberg O. Vegetation belts of the east African mountains[J]. *Tidskrift: Svensk Botanisk*, 1951.
- [11] 韩芳, 张百平, 谭靖, 等. 山体基面高度对欧亚大陆东南部林线分布的影响——山体效应定量化研究[J]. *地理学报*, 2010, 65(7): 781 - 788.
- [12] 袁道阳, 张培震. 青藏高原新生代构造和第四纪研究的进展及问题讨论[J]. *西北地震学报*, 2001, 23(2): 199 - 205.
- [13] 黄威廉. 台湾植被[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1993.
- [14] 汤国安, 杨玮莹, 杨昕. 对 DEM 地形定量因子挖掘中若干问题的探讨[J]. *测绘科学*, 2003, 28(1): 28 - 32.
- [15] 周毅, 汤国安, 张婷, 等. 基于格网 DEM 线状分析窗口的地形特征线快速提取方法[J]. *测绘通报*, 2007(10): 67 - 69.
- [16] 肖飞, 张百平, 凌峰, 等. 基于 DEM 的地貌实体单元自动提取方法[J]. *地理研究*, 2008, 27(2): 459 - 466.
- [17] 姚永慧, 周成虎, 孙然好, 等. 基于多源数据的山地地貌数字解译[J]. *山地学报*, 2007, 25(1): 122 - 128.
- [18] 闫国年, 钱亚东, 陈钟明. 基于栅格数字高程模型提取特征地貌技术研究[J]. *地理学报*, 1998, 53(6): 562 - 569.
- [19] 陈俊明, 林广发, 杨志海, 等. 数字河网提取的影响参数优化分析[J]. *地球信息科学学报*, 2011, 13(1): 32 - 37.
- [20] 马兰艳, 周春平, 胡卓玮, 等. 基于 SRTM DEM 和 ASTER GDEM 的辽河流域河网提取研究[J]. *安徽农业科学*, 2011, 39(5): 2692 - 2695.
- [21] 汤国安, 杨昕. ArcGIS 地理信息系统空间分析实验教程[M]. 北京: 科学出版社, 2006.
- [22] 中国科学院地理科学与资源研究所. 中国 1:100 万地貌图制图规范[M]. 北京: 科学出版社, 1987.

## Mountain Basal Elevation Extraction in the Taiwan Island

ZHANG Shuo<sup>1,2</sup>, YAO Yonghui<sup>1</sup>, PANG Yu<sup>1,2</sup>, ZHAO Fang<sup>1,2</sup>,

QI Wenwen<sup>1,2</sup> and ZHANG Baiping<sup>1</sup>

(1. *Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China;*

2. *University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China*)

**Abstract:** Mountain basal elevation (MBE) is the elevation of the base which mountains uplift from. The variation of MBE affects the redistribution of water and heat conditions in mountain areas, and the structure and distribution of mountain altitudinal belts. But so far, there has been no accurate and scientific concept of MBE and no effective method to quantitatively extract it. This paper discusses the features of MBE, and develops a new quantitative method for MBE extraction based on topographical features. There are several algorithms available for automated extraction of topographical features, including ridge line, valley line and the boundary of mountains, and most of the current approaches are mainly based on regular statistic unit. This paper takes Taiwan mountain areas for experimental zone, and uses ASTER GDEM at resolution of 30m. Firstly, extracting main ridge line and main valley line by terrain analysis and hydrological analysis, and using topographical features to extract the boundary of mountains. Then based on the result of extraction, the distribution and the value of MBE are determined. The results show that the mountain areas of Taiwan can be divided into six MBE areas (0m, 150m, 200m, 600m, 630m, and 650m). The results can represent the distribution of Taiwan mountain basal elevation. This MBE extracting method is based on sophisticated algorithms, so it can improve the efficiency of the extraction process and the accuracy of results. The method could promote the extraction of the world's mountain basal elevation and the quantitative research of mass elevation effect.

**Key words:** mountain basal elevation; topographical features extraction; Taiwan; mass elevation effect; mountain