

龙晓君, 李新建. 基于多源数据的中国地形海拔分级指标调整研究[J]. 地理科学, 2017, 37(10): 1577-1584. [Long Xiaojun, Li Xiaojuan. Mountain Attitude Classification Indexes Adjustment Based on Multi-Source Data in China. Scientia Geographica Sinica, 2017, 37(10): 1577-1584.] doi: 10.13249/j.cnki.sgs.2017.10.015

# 基于多源数据的中国地形海拔分级指标调整研究

龙晓君<sup>1,2,3</sup>, 李新建<sup>2,3</sup>

(1. 广东财经大学地理与旅游学院, 广东 广州 510220; 2. 河南财经政法大学城乡协调发展河南省协同创新中心, 河南 郑州 450046; 3. 河南大学环境与规划学院黄河文明与可持续发展研究中心, 河南 开封 475001)

**摘要:** 使用SRTM DEM、土地覆被、冻融侵蚀、河流沟谷等多源数据, 对区分海拔等级的指标地物作了具体分析, 以指标地物的平均海拔为依据, 通过分级指标对象(如冰川、林线)分布高程重合或贴近的多条等高线圈形成分级等高平面, 对陆地地貌进行切割划分, 用每组指标对象偏离等高平面的值作为控制量(控制点), 插值重构分级参考曲面。该方案最大限度突出指标的地理意义, 形成的海拔分级结果与中国地理系统分布特征更为贴近, 可以为中国大尺度地貌基本形态的划分提供参考。

**关键词:** 海拔; 分级指标; 参考曲面; 多源数据

**中图分类号:** P208      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1000-0690(2017)10-1577-08

地貌面的海拔在宏观上体现了地貌内营力作用的特征和性质, 是最基本的地貌形态指标<sup>[1,2]</sup>。不同高程区间的地表, 所受外营力也不同, 往往形成垂直分异的覆被类型和地表过程, 因此认知地貌类型时, 海拔分级是相关研究的基础。

中国地貌类型复杂, 为建立具有明确地理意义的海拔分级指标带来一定难度, 至今尚未形成完全公认的指标系统<sup>[2,3]</sup>, 现有的分级研究大致可归纳为3种思路。① 研究早期, 主要依据中国多级地势特征进行海拔分区。20世纪50年代, 在中国地形区划草案<sup>[4]</sup>基础上, 沈玉昌等选用500 m、1 000 m、3 000 m和5 000 m作为指标, 将地形划分为丘陵、低山、中山、高山和极高山<sup>[5]</sup>; 到80年代, 中国地理学家编制15幅地貌图时, 决定以三级地貌阶梯的高程特征来划分海拔, 即选用1 000 m、3 500 m、5 000 m<sup>[6]</sup>为指标, 这种划分思路对后续研究影响深远, 直到近几年, 中国陆地1:100万数字地貌分类体系<sup>[7]</sup>仍以此作为基本依据, 但在定量处理过程中结合遥感等多源数据对其做了局部调

整<sup>[8]</sup>。② 从不同地貌区主导外营力和重要地貌单元的海拔分布入手, 调整高程分级指标。如, 李炳元对第一阶梯上的喜马拉雅、冈底斯、念青唐古拉、昆仑山等山脉及第二阶梯的天山、阿尔泰山、秦岭、大巴山、贺兰山等分别做了高程分析, 认为3 500 m和5 000 m这2级指标难以反映青藏高原山地客观分布, 结合各大山脉的高程分布, 将指标调整为1 000 m、2 000 m、4 000 m和6 000 m<sup>[9]</sup>, 以此为代表的分级指标在中国地势图编制中应用最为广泛。③ 钟祥浩等<sup>[10]</sup>通过分析高原自然-人文环境的分布将极高山下界调整为5 500 m, 基于中国西南冻融侵蚀和西北林线高度将高山下界调整为4 000 m, 用中国中西部最冷月0℃线附近海拔将高山(也有学者称“亚高山”)下界调整为2 500 m, 中山与低山的界线沿用了1 000 m等高线。

上述分级指标都建立在专家知识基础上, 从不同的视角把握地貌认知的合理性, 为中国海拔分级奠定了基础, 但存在一些不容忽视的问题。首先, 分级指标较为笼统, 难以顾及所有地貌区

**收稿日期:** 2016-10-14; **修订日期:** 2017-04-29

**基金项目:** 国家自然科学基金项目(41471117)、教育部人文社会科学重点研究基地重大项目(16JJD770021)、河南省2015博士后科研项目(20160226)和广东省哲学社会科学“十三五”规划2017年度学科共建项目(GD17XGL16)资助。[Foundation: National Natural Science Foundation of China (41471117), Key Program of the Social Science and Humanity Research Institute of Ministry of Education, China (16JJD770021), 2015 Henan Postdoctoral Science Foundation(20160226), 2017 Guangdong Planning Project of Philosophy and Social Sciences (GD17XGL16).]

**作者简介:** 龙晓君(1973-), 女, 河南开封市人, 博士, 讲师, 主要研究领域为地质生态环境与地质灾害、灾害经济、人口地理学。E-mail: 935627279@qq.com

域,导致在局部地区失去指示意义,如,按照3 500 m划分高山与中山时,类似阿尔泰山、准噶尔西部山地、天山等区域的冰缘地貌被划入中山区<sup>[8]</sup>,与冰缘线以上属于高山、极高山的认识相悖;第二,由于中国地貌类型复杂,难以用特定算法自动获取目标区域的最佳指标量<sup>[11]</sup>,且指标调整只关注局部地表的特征,一定程度上忽视了地理内涵;此外,与早期研究相比,可用的遥感影像及产品大为丰富,但全面的数据实证分析较少开展。

选取对划分极高山、高山、中山与低山有指示意义的对象(地理要素或特定的地理区域),采用DEM、土地覆被、冻融侵蚀数据、河流沟谷等相关的数据,按照地貌分区逐一分析,获取这些指标对象的高程分布,进而形成中国海拔划分指标建议值及调整方案,以期宏观地貌研究提供参考。

## 1 研究区与数据

### 1.1 研究区分区

海拔分级指标的选取与地理区域直接相关,为了便于实验开展和介绍,首先依据中国地貌区划研究成果<sup>[12]</sup>,将研究区分为6个子区(图1),分别为东部低山平原区(I)、东南低中山区(II)、中北中山高原(III)、西北高中山盆地区(IV)、西南亚高山中山(V)、青藏高原区(VI)。

### 1.2 实验数据

实验的高程数据选用SRTM3,其空间分辨率

为3",约合90 m栅格大小,标称垂直精度达 $\pm 17$  m、标称平面精度约20 m,相对于以千米计量的海拔分级指标而言,该数据精度可以满足分析需求。

实验的第一类指标对象选用土地覆被类型,主要用到冰川、落叶针叶林、落叶阔叶林、草地等要素,土地覆被数据选用GLC2000(Global Land Cover 2000)数据,在中国及周边地区,GLC2000的总体精度高于IGBP DISCover、UMD、MOD12Q1、GlobCover 2005等其他几类大尺度土地覆被产品<sup>[13]</sup>。地类图斑的选取遵循取大舍小、空间分布均匀、数量有限的原则,去掉了破碎和不典型的小斑块。指标对象的图斑确定后,叠合多期Landsat影像作了图斑检查和修校。

实验的第二类指标对象为外营力分布区,具体包括中国西部冻融侵蚀范围以及地貌第二阶梯、第三阶梯分界线附近的水蚀沟谷。冻融侵蚀范围的下缘通过配准“中国冻融侵蚀区范围分布图”<sup>[14]</sup>后矢量化获取;第二阶梯、第三阶梯分界线大致分布在大兴安岭、大马群山、太行山、伏牛山东段、武陵山东段、雪峰山一带,这些水蚀沟谷区主要使用ArcGIS水文分析工具从SRTM中提取山谷线并结合TM影像解译获取。

## 2 海拔分级指标调整方法

### 2.1 总体思路

现有海拔分级方法中,所用界线是与分级指

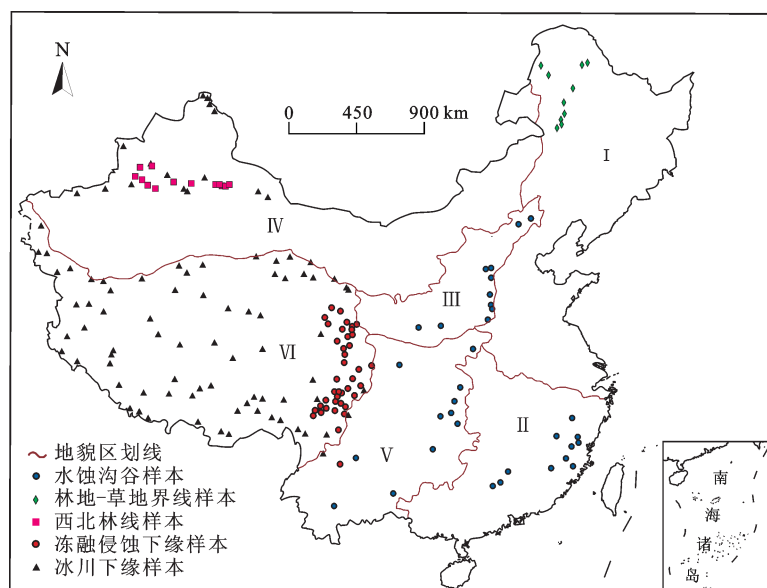


图1 研究区分<sup>[12]</sup>与样本

Fig.1 Study area<sup>[12]</sup> and the samples

标对象(如冰川、林线)分布高程重合或贴近的多条等高线,这些等高线圈闭形成分级等高平面,由这些等高面作为参考对地形进行切割划分。考虑到外动力条件随气候带与纬度发生变化,分级指标对象的平均高程往往是递变的,这种空间差异性决定了最佳分割面应是复杂的曲面。由于地表水热条件具有地带性和渐变性<sup>[15]</sup>,据此假设相关的外动力条件在宏观上连续变化,用每组指标对象偏离等高平面的值作为控制量(控制点),插值重构分级参考曲面。

本文选用中国 1:100 万数字地貌分类系统的海拔分级方案(下文相对于调整后的指标称其为原方案),即 1 000、3 500、5 000 m 作等高面,进行海拔划分(表 1),在等高面附近寻找具有显著垂直分异特征的土地覆被类型作指标对象,当垂直分异不明显时,考虑选用外动力因素。这种思路最大限度突出指标的地理意义,优点是由此构建的分级方案与中国的山地资源环境系统分布特征最为贴近。

表 1 不同海拔等级的面积比例

Table 1 Area statistics for altitude classes of mountains in China

|                    | 面积(10 <sup>4</sup> km <sup>2</sup> ) | 比例(%) |
|--------------------|--------------------------------------|-------|
| 低海拔(<1 000 m)      | 393.32                               | 41.15 |
| 中海拔(1 000~3 500 m) | 346.56                               | 36.26 |
| 高海拔(3 500~5 000 m) | 154.79                               | 16.20 |
| 极高海拔(>5 000 m)     | 61.06                                | 6.39  |

具体分析过程在不同地貌区保持一致,即先求区域内指标对象的边界高程均值,再确定用于重构参考曲面的控制点。

## 2.2 调整方法

1) 极高山-高山界线的指标调整。极高山下界大致与现代冰川与雪线相符<sup>[5]</sup>,这一区域气候严寒,冰蚀地貌、碎屑坡、流石滩分布广泛,植被稀少,且人迹罕至<sup>[11]</sup>,与高山相比,具有非常突出的寒冻风化特征和生态限制条件。基于此,本文选择现代冰川作为极高山的地表指标对象,以冰川边缘的海拔分布作为分级参考依据。

中国西部 14 条山系均有冰川分布<sup>[16]</sup>,冰川中值等高线由西北高山向青藏高原内部逐渐抬升<sup>[17]</sup>,2 个地区的平均差异超过 2 000 m。因此,冰川指标对象从西北大区(V)和青藏大区(VI)分别选取和讨论。具体选用 V 区阿尔泰山、天山山系的冰川

图斑 327 个,选用 VI 区昆仑山、冈底斯山、念青唐古拉山、喜马拉雅山的冰川图斑 981 个,在 ArcGIS 中提取了冰川边线,并用 Zonal statistics 工具统计了各条线的 SRTM 高程均值,并求出分区内冰缘高程均值(图 2)。

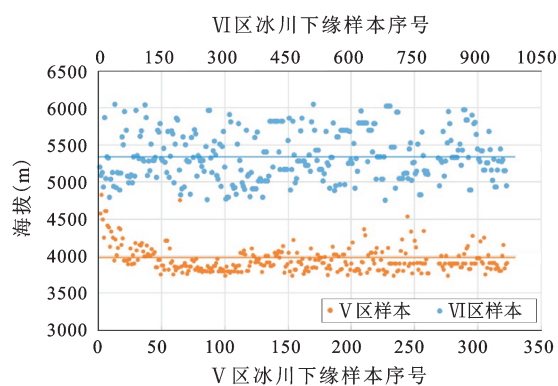


图 2 冰川下缘海拔

Fig.2 Elevation statistics for the lower edge of the glacier

V 区高山冰川的下缘集中分布在 3 800~4 200 m,均值为 3 953 m,总体上低于 VI 区的高原冰川(图 2),高原冰川边缘高程分布较为分散,在 5 000~5 500 m 的占 67%,均值为 5 341 m;计算每条冰川边缘高程均值与区内均值(VI 区 5 342 m, V 区 3 963 m)的差,并记录在边线的属性表中,供构造分级参考曲面使用。

2) 高山-中山界线的指标调整。高山区植被条件较极高山区好,以草地为主,外动力条件介于寒冻侵蚀和水力剥蚀之间。中国学者对高山下界的判断有不同的意见,常用的划分依据包括高原高程分布、或西北大区(V)的森林上限和青藏大区(VI)的冻融侵蚀下限。本文选用森林上限和冻融侵蚀下限做指标<sup>[8,11]</sup>。

研究表明,V 区大部分林线较宏观范围的统计值(3 500 m)要低,如天山北坡森林上限在 2 600~2 850 m 之间<sup>[18,19]</sup>。本文首先提取阿尔泰山、天山主脉、博格达山超过 2 600 m 的山体部分,在这些潜在高山区的土地覆被数据中,提取落叶针叶林图斑 776 个,统计各斑块内高程最大值,作为分级参考。如图 3 所示,区内斑块最大值主要分布在 2 700~3 900 m 之间,总平均值为 3 397 m。在属性表中记录各图斑高程最大值与总均值 3 397 m 的差值,供构造参考曲面使用。

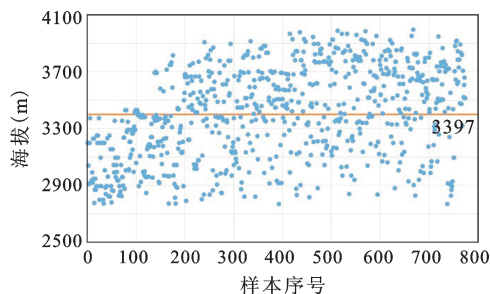


图3 V区落叶针叶林图斑海拔最大值

Fig.3 Highest elevation of deciduous coniferous forest in Zone V

在VI区中,东起四姑娘山-贡嘎山一带、西到沙鲁里山脉,选用冻融侵蚀区图斑 178 个,统计各图斑边界高程均值(图 4),计算得到总体均值为 4 134 m。记录各图斑与本区高山下界高度的差值,作为参考曲面的控制量。

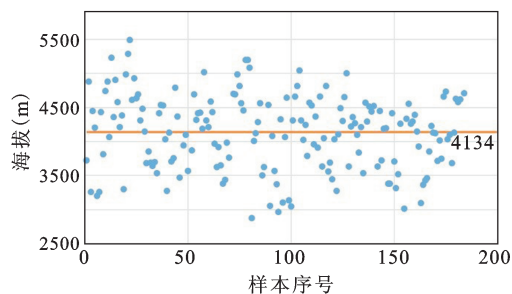


图4 VI区冻融侵蚀边界平均海拔

Fig.4 Average elevation of freeze-thaw erosion boundary in Zone VI

3) 中山-低山界线的指标调整。在常见的海拔分级指标中,中国学者对中山-低山的划分意见基本一致<sup>[1-10,12]</sup>,主要考虑地貌第二台阶与第三台阶界线以东地区的海拔多在 1 000 m 左右,这些区域受到的流水侵蚀较强。

中国陆地地貌基本形态类型定量提取研究<sup>[8]</sup>表明,根据中国东部不同区域地形特征,需要对 1 000 m 指标作适当调整:如,I区的长白山、山东低山丘陵和II区的低山丘陵,中山下限设在 800 m 附近较为合适,I区的大兴安岭、中北大区(III)东侧的太行山脉,宜用 900 m 作为分界线。该研究使用遥感等多源数据,结合局部地表解译和专家知识进行,较好地反映了东部的海拔特征,但没有对调整指标的地理意义做进一步说明。

在I区,根据植被的垂直带谱特征,将 1 000 m

等高线与土地覆被数据套合起来,经观察,1 000 m 等高线与林地-草地界限的走势基本一致,使用 GLC2000 数据提取了大兴安岭地区海拔为 700~1 000 m 的落叶针叶林与草地界线,共 262 段。统计各线段对应地表的高程均值,这些值主要落在 750~998 m 之间,均值为 867 m(图 5)。同时,在图层属性表中记录各条界线高程均值与总均值 867 m 的差值,作为构建参考曲面的控制量。

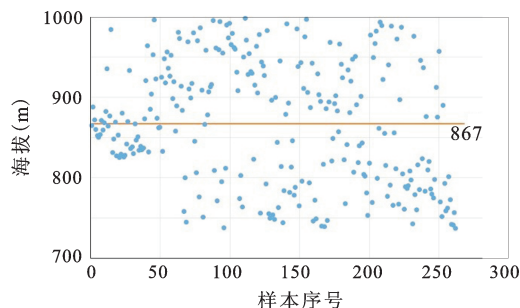


图5 I区林地-草地界线平均海拔

Fig.5 The average elevation of woodland-grassland line in Zone I

由于II区、III区、IV区 1 000 m 等高线附近没有显著的地表覆被垂直分异,本文选用第二台阶与第三台阶过渡带上小流域的沟谷作为指标对象,具体分析了太行山东麓(III区)以及雪峰山(IV区)沟谷平均高程,将此作为分级指标的参考值。实验共选取沟谷 148 条(如图 6),太行山东麓河谷的平均海拔分布在 650~1 100 m,总体均值 902 m,雪峰山谷的平均海拔主要分布在 550~950 m,总体均值 775 m。在图层属性表中,记录各条沟谷高程均值与分级指标参考值的差值,作为参考曲面的控制量。总体上,中山与低山的海拔分级参考值在中段较高,南北两端略低。

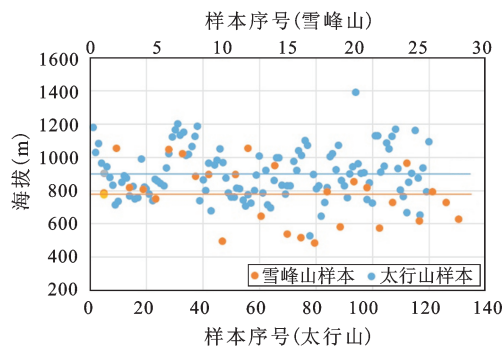


图6 III、IV区河流沟谷平均海拔

Fig.6 The average elevation of river valleys in Zone III&IV

4) 全局参考曲面构建。目前,结合遥感解译进行高程分级调整是数字地貌研究的重要辅助方法,对地貌的局部分析效果好,但难以形成大尺度上的地理解释,也没有显示分级对象与分级指标在空间上的差异。本文前述步骤围绕土地覆被系统和外动力条件,分区开展指标对象海拔的讨论,并获得2 672处指标对象与平均高程的差 $\delta$ ,据此使用空间插值的方法,构建全局差异曲面作为进一步研究的参考。具体步骤是,使用矢量要素转点工具将每处地物图斑或地类界线的中心点取出,然后基于指标对象平均高程在宏观尺度为渐变的假设,使用3次样条插值法,对 $\delta$ 进行空间插值。

### 3 结果与分析

结合SRTM、土地覆被、冻融侵蚀等多源数据和GIS统计分析工具,对不同地貌区的指标地物作了海拔特征分析,以指标地物的平均海拔为依据,形成面向不同地区的海拔分级指标调整方案(表2)。按照调整后的分级指标,对各分区做海拔分级处理,与原分级方案相比,新形成的分级等高面,可以使分级结果与实际的资源环境指标在总体上更加贴近。分析过程中使用的样本点和线,记录了指标地物的局部高程统计值,可供进一步分析使用:以表2的指标构建等高平面,并将其视为橡皮膜,各样本的值与等高面求差,按照差值正/负对

等高平面进行垂直向上/向下拉伸、用3次样条插值法求对应的曲面(图7)。该曲面加入局部地表信息,对表2的指标在空间上作进一步修正,为划分指标在局部地表的调整提供参考量。

表2 不同分区的海拔分级指标调整

Table 2 Elevation classification adjustment for different partitions

|               | I区  | II区 | III区        | IV区         | V区          | VI区         |
|---------------|-----|-----|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 极高海拔-高海拔断点(m) | -   | -   | -           | <b>5000</b> | 3953        | 5342        |
| 高海拔-中海拔断点(m)  | -   | -   | <b>3500</b> | 4134        | 3397        | 4134        |
| 中海拔-低海拔断点(m)  | 867 | 775 | 902         | 775         | <b>1000</b> | <b>1000</b> |

注:黑体表示在相应的地貌大区中未作讨论,沿用原分级方案的值。

图7中正值部分,表示调整后的高程指标小于局部地表样本的高程期望,如,青藏高原地区,冰川中值等高线由东向西逐渐抬升,冰川样本的边缘平均高程与该区域冰缘总均值(5 342 m)的差相应发生变化,总体上局部调整曲面的值也从青藏东部向西部递增。负值表示地表样本的局部高程均值小于调整后的高程指标,如,东部地区受宏观地势影响,河谷海拔自西向东递减,造成调整曲面从山区向平原的倾斜。

按照调整后的分级曲面作为参考切割地形空间,得到调整后的海拔分级(图8),对比原分级方案,各地貌区海拔分级均有一定的变化。定性来看,地貌大区(V)的极高山比例增加,青藏大区(VI)

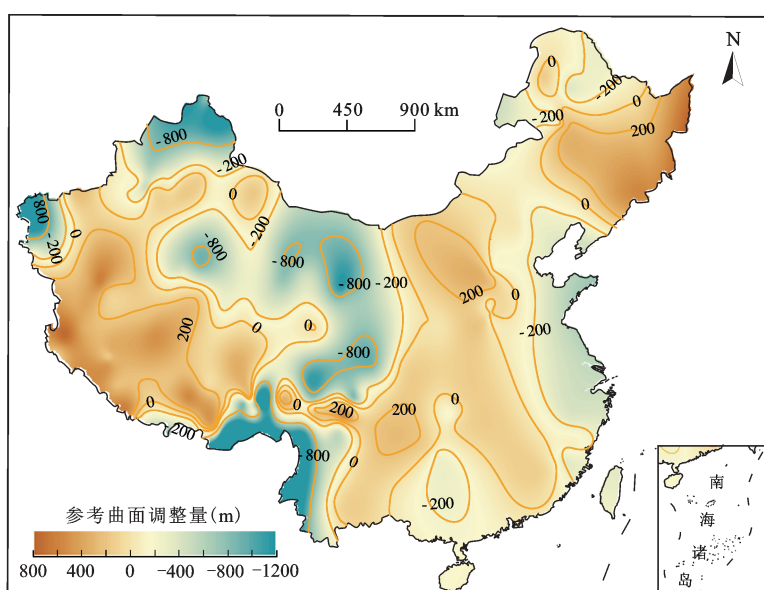
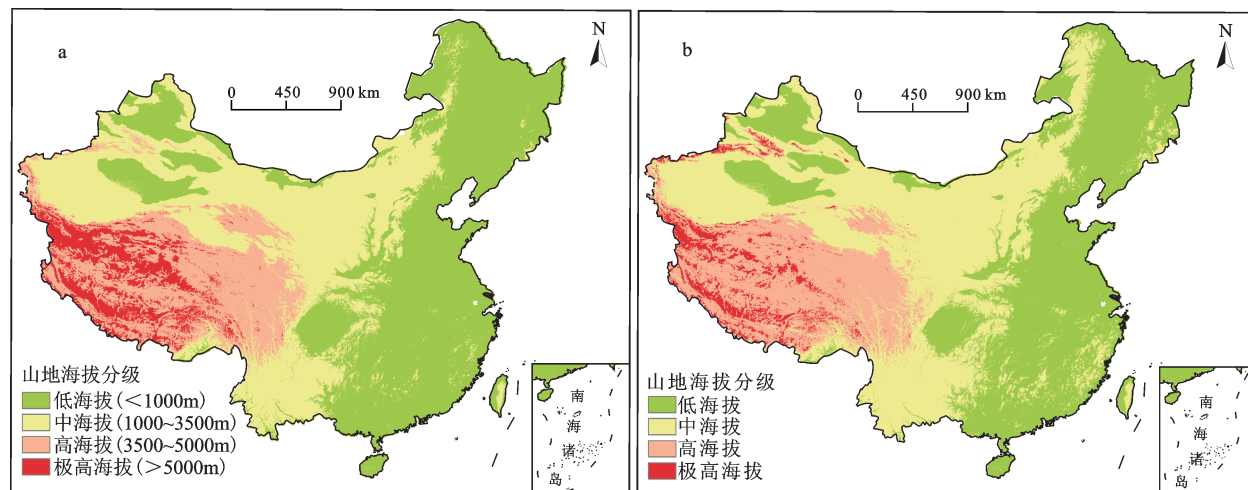


图7 新指标的局部调整曲面

Fig.7 The spatial difference between the adjusted indices and the samples



注:a为参考原方案的中国山地海拔分级;b为调整后的中国山地海拔分级。

图8 中国山地海拔分级

Fig.8 Elevation classification in China

的极高山比例减少,总体上与冰川的分布特征更加贴近。东北地区(I)、东南大区(II)的中山比例增加,其中东北地区范围变化与林地-草地范围分布趋同;秦岭(III)-大巴山(IV)-雪峰山这一带的中山比例有所增加;从东北山地到云贵东侧,分级结果与中国第二阶梯、第三阶梯的地理界线形成了呼应,更符合实际的地理认知。此外,青藏东缘和东北缘的高山下缘向高海拔方向收缩,横断山脉的南北向河谷地形特征得以保留,也与冻融侵蚀在青藏东部的特征相接近。

调整后,极高海拔比例由6.39%降为4.13%,这些极高海拔区呈细条带状分布,更好地对应了天山、昆仑山、冈底斯山的形迹(表3)。高海拔区域比例变化不大,调整前为16.20%,调整后为15.93%,消减区集中在地貌第一阶梯和第二阶梯交界处。中海拔区域比例由36.26%上升为40.72%,增长部分集中在东北山地和东南丘陵区,避免了原分级方案造成的中国东部无中山的误判。

表3 指标调整后的海拔分级面积比例

Table 3 Area ratio of altitude classes after indexes adjustment

| 分级   | 面积( $\times 10^4 \text{ km}^2$ ) | 比例(%) |
|------|----------------------------------|-------|
| 低海拔  | 374.83                           | 39.22 |
| 中海拔  | 389.17                           | 40.72 |
| 高海拔  | 152.22                           | 15.93 |
| 极高海拔 | 39.51                            | 4.13  |

## 4 结论

在前人研究基础上,本次实验分区筛选指标,将此前划分海拔区间的等高平面改为由特定外力指标控制的曲面,统计得出:① 中国低海拔面积约  $374.83 \times 10^4 \text{ km}^2$ , 占陆地国土面积的39.22%;② 中海拔面积约  $389.17 \text{ km}^2$ , 占陆地国土面积的40.722%;③ 高海拔面积约  $152.22 \text{ km}^2$ , 占陆地国土面积的15.93%;④ 极高海拔面积约  $39.51 \text{ km}^2$ , 占陆地国土面积的4.13%。

该分级方案地理意义更为明确,海拔分级结果与地表特征地物、宏观地理认知更加贴近,这对面向资源系统的海拔区划具有一定的参考意义。考虑到实验中,中山-高山分级指标的特征地物在大区V、VI存有交集,冻融侵蚀在青藏高原、天山北部都非常显著,此外西藏地区也包含多处林线区域,当前的样本选择方案未在同一大区中同时考虑二者,而是分别选择了区内更为典型的指标,冻融与林线样本在同一地貌大区内的冲突及对分级结果的影响需要进一步讨论。

## 参考文献(References):

- [1] 程维明,周成虎. 多尺度数字地貌等级分类方法[J]. 地理科学进展, 2014, 33(1):23-33. [Cheng Weiming, Zhou Chenghu. Methodology on hierarchical classification of multi-scale digital geomorphology. Progress in Geography, 2014, 33(1):23-33.]
- [2] 李炳元,潘保田,韩嘉福. 中国陆地基本地貌类型及其划分指标探讨[J]. 第四纪研究, 2008, 28(4): 535-543. [Li Bingyuan,

- Pan Baotian, Han Jiafu. Basic terrestrial geomorphological types in China and their circumscriptions. *Quaternary Sciences*, 2008, 28(4):535-543.]
- [3] 苏时雨, 李钜章. 地貌制图[M]. 北京: 测绘出版社, 1999: 35-55. [Su Shiyu, Li Juzhang. *Geomorphological Mapping*. Beijing: Surveying and Mapping Press, 1999: 35-55.]
- [4] 周廷儒, 施雅风, 陈述彭. 中国地形区划草案[M]. 北京: 科学出版社, 1956: 21-56. [Zhou Tingru, Shi Yafeng, Chen Shupeng. *Topographic compartmentalization draft of China*. Beijing: Science Press, 1956: 21-56.]
- [5] 沈玉昌. 中国地貌区划(初稿)[M]. 北京: 科学出版社, 1959: 24-29. [Shen Yuchang. *Geomorphological compartmentalization of China(the first draft)*. Beijing: Science Press, 1959:24-29.]
- [6] 中国科学院地理研究所. 中国 1: 100 万地貌制图规范(征求意见稿)[M]. 北京: 科学出版社, 1987. [Institute of geography, Chinese Academy of Sciences. 1: 1 000 000 Geomorphological mapping specification (trial). Beijing: Science Press, 1987.]
- [7] 周成虎, 程维明, 钱金凯, 等. 中国陆地 1:100 万数字地貌分类体系研究[J]. 地球信息科学学报, 2009, 11(6): 707-724. [Zhou Chenghu, Cheng Weiming, Qian Jinkai et al. Research on the classification system of digital land geomorphology of 1: 000000 in China. *Journal of Geo-Information Science*, 2009, 11 (6): 707-724.]
- [8] 程维明, 周成虎, 柴慧霞, 等. 中国陆地地貌基本形态类型定量提取与分析[J]. 地球信息科学. 2009, 11(6): 725-736. [Cheng Weiming, Zhou Chenghu, Chai Huixia et al. Quantitative extraction and analysis of basic morphological types of land geomorphology in China. *Geo-information Science*, 2009, 11(6): 725-736.]
- [9] 李炳元, 李钜章主编. 中国 1:400 万地貌图[M]. 北京: 科学出版社, 1994. [Li Bingyuan, Li Juzhang. 1:4 000 000 Geomorphological Map of China. Beijing: Science Press, 1994.]
- [10] 钟祥浩, 刘淑珍. 中国山地分类研究[J]. 山地学报. 2014, 32 (2): 129-140. [Zhong Xianghao, Liu Shuzhen. Research on the mountain classification in China. *Mountain Research*, 2014, 32 (2): 129-140.]
- [11] 周成虎, 程维明, 钱金凯. 数字地貌遥感解析与制图[M]. 北京: 科学出版社, 2009. [Zhou Chenghu, Cheng Weiming, Qian Jinkai. *Digital geomorphological interpretation and mapping from remote sensing*. Beijing: Science Press, 2009.]
- [12] 李炳元, 潘保田, 程维明, 等. 中国地貌区划新论[J]. 地理学报, 2013, 68(3): 291-306. [Li Bingyuan, Pan Baotian, Cheng Weiming et al. Research on geomorphological regionalization of China. *Acta Geographica Sinica*, 2013, 68(3): 291-306.]
- [13] 杨永可, 肖鹏峰, 冯学智, 等. 大尺度土地覆盖数据集在中国及周边区域的精度评价[J]. 遥感学报. 2014, 18(2): 453-463. [Yang Yongke, Xiao Pengfeng, Feng Xuezhong et al. Comparison and assessment of large-scale land cover datasets in China and adjacent regions. *Journal of Remote Sensing*, 2014, 18(2): 453-463.]
- [14] 刘淑珍, 刘斌涛, 陶和平, 等. 我国冻融侵蚀现状及防治对策[J]. 中国水土保持. 2013, 10:41-44. [Liu Shuzhen, Liu Bintao, Tao Heping et al. Freeze-thaw erosion in our country present situation and the countermeasures. *Soil and Water Conservation in China*, 2013, 10: 41-44.]
- [15] 张文江, 高志强. 青藏高原中东部水热条件与NDVI的空间分布格局[J]. 地理研究, 2006, 25(5): 877-886. [Zhang Wenjiang, Gao Zhiqiang. Spatial variation of water /thermal elements and NDVI with altitudes in central and eastern Tibetan Plateau. *Geographical Research*, 2006, 25(5): 877-886.]
- [16] 刘时银, 姚晓军, 郭万钦, 等. 基于第二次冰川编目的中国冰川现状[J]. 地理学报, 2015, 70(1): 3-16. [Liu Shiyin, Yao Xiaojun, Guo Wanqin et al. The contemporary glaciers in China base on the Second Chinese Glacier Inventory. *Acta Geographica Sinica*, 2015, 70(1): 3-16.]
- [17] 谢自楚, 冯清华, 王欣, 等. 中国冰川系统变化趋势预测研究[J]. 水土保持研究, 2005, 12(5): 77-82. [Xie Zichu, Feng Qinghua, Wang Xin et al. Modeling the response of glacier system to climate warming: taking glaciers in China as an example. *Research of Soil and Water Conservation*, 2005, 12(5): 77-82.]
- [18] 李艳忠, 罗格平, 周德成, 等. 天山北坡高山林线分布的生态地理特征[J]. 中国沙漠, 2012, 32(1): 122-131. [Li Yanzhong, Luo Geping, Zhou Decheng et al. Eco-geographical characteristics of alpine timberlines on northern slope of Tianshan Mountains. *Journal of Desert Research*, 2012, 32(1): 122-131.]
- [19] 贺文慧, 张百平, 庞宇, 等. 天山北翼坡向对森林分布的影响[J]. 山地学报, 2015, 33(5): 546-552. [He Wenhui, Zhang Baiping, Pang Yu et al. Effect of slope aspect on the distribution of mountain forest in the northern flank of the central Tianshan Mountains. *Mountain Research*, 2015, 33(5): 546-552.]

## Mountain Attitude Classification Indexes Adjustment Based on Multi-Source Data in China

Long Xiaojun<sup>1,2,3</sup>, Li Xiaojian<sup>2,3</sup>

(1. *School of Geography and Tourism, Guangdong University of Finance&Economics, Guangzhou 510220, Guangdong, China;*  
2. *Collaborative Innovation Center of Urban-Rural Coordinated Development, Henan Province, Henan University of Economics and Law, Zhengzhou 450046, Henan, China;* 3. *College of Environment and Planning, Research Institute of Yellow River Civilization and Sustainable Development, Henan University, Kaifeng 475001, Henan, China*)

**Abstract:** Because of the complicated mountain land types in China, it is often difficult for the existing mountain land classification indexes to take all morphogenetic zones into account. As a result, indexes lose indicative significance in local regions. In order to establish altitude classification indexes with clear geographical significance, the altitude characteristics of index surface features that could distinguish between mountain land level was analyzed in the paper through multi-source data, including SRTM, DEM, land cover, freeze-thaw erosion and river valleys. Based on the average altitude of index surface features, the classification planes with equal attitude were formed through classification index objects (such as glacier and forest line) distribution elevation coincidence or adjacent multi-contour line circles. Besides, the mountain land was cut and divided. The values that each group of index object deviated from the plane with equal attitude were considered as the controlled quantity (control points). The classification reference surface was remonstrated via interpolation. The research highlighted the geographical significance of the indexes to the largest degree. The obtained results of mountain land classification was the most close to the distribution characteristics of mountain resources and environment system in China. It is hoped that the research can provide basic reference for the regionalization of mountain land that is oriented from the characteristics resource distribution.

**Key words:** mountain; classification indexes; reference surface; multi-source data