

中国地形起伏度及其与人口分布的相关性

封志明, 唐焰, 杨艳昭, 张丹

(中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

摘要: 基于人居环境自然评价的需要, 运用 GIS 技术, 采用窗口分析等方法, 提取了基于栅格尺度 (10 km×10 km) 的中国地形起伏度, 并从比例结构、空间分布和高度特征 3 个方面系统分析了中国地形起伏度的分布规律及其与人口分布的相关性。研究表明: 中国的地形起伏度以低值为主, 63% 的区域低于 1 (相对高差 ≤ 500 m); 空间分布呈现西高东低、南高北低的格局; 随着经度和纬度增高, 地形起伏度呈逐渐下降趋势, 28°N、35°N、42°N 纬线和 85°E、102°E、115°E 经线上的地形起伏度符合中国三大阶梯的地貌特征; 随着海拔高度增加, 地形起伏度呈现逐渐升高趋势。实证分析表明: 中国的地形起伏度与人口密度有较好的对数拟合关系, 拟合度高达 0.91; 全国 85% 以上的人口居住在地形起伏度小于 1 的地区, 在地形起伏度大于 3 的地区居住的人口总数只占全国 0.57%。中国地形起伏度与人口分布的相关性区域差异显著, 东北、华北、华中和华南等地相关性显著, 内蒙古与青藏地区几乎不存在相关性。

关键词: 地形起伏度; 人口分布; GIS; 中国

1 引言

地形起伏度研究最早起源于 1948 年苏联科学院地理研究所提出的割切深度^[1], 将地形起伏度作为划分地貌类型的一项重要指标是国内外地图编制的基本特征。国际地理联合会地貌调查与制图委员会编制的 1:250 万欧洲国际地貌图和中比例尺地貌图国际统一图例指南, 均将地形起伏度作为地貌基本形态分类的重要指标。中国《1:400 万中国地貌图》、《1:100 万地貌图制图规范》和《中国地貌全图研制》等也将地形起伏度作为一个主要的划分依据。近年来, 随着 DEM 数据库的建立和计算机的广泛使用, 以数字高程模型为本底数据对区域地形起伏度的研究逐渐兴盛起来。地形起伏度在土壤侵蚀敏感性评价、冻融侵蚀敏感性评价、水土流失定量评价、地质环境评价等方面得到了广泛应用^[2-8]。在生态环境评价方面, Kodagali 等众多学者也都采用了地形起伏度作为评价指标之一^[9-15]。牛文元等人提出了评价中国自然环境的“地形起伏度”定义, 并认为中国拥有着超过世界平均水平的地形起伏度^[16]。之后也曾被引用到对城市发展成本的评价^[17]。由于不同领域应用目的不尽相同, 地形起伏度在定义、提取方法及等级划分等方面存在着一定的差异。如何根据区域资源环境特征与特定应用目的, 界定地形起伏度的内涵、选取科学的提取方法与表达方式, 已成为提高地形起伏度研究的有效性和实用性的关键。

受国家人口与计划生育委员会的委托, 我们开展了中国人居环境自然评价工作。地形起伏度作为影响中国人口分布的重要因素之一, 我们将其纳入了中国人居环境自然评价指标体系。在系统梳理了国内外地形起伏度研究背景的基础上, 确立了中国人居环境自然评价背景下的地形起伏度定义及其计算公式, 采用窗口分析等方法, 利用 ARC/INFO 软

收稿日期: 2006-11-20; 修订日期: 2007-06-26

基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向项目 (KZCX3-SW-333) [Foundation: Knowledge Innovation Program of CAS, No.KZCX3-SW-333]

作者简介: 封志明 (1963-), 男, 研究员, 博士生导师, 中国地理学会会员, 主要研究方向农业资源高效利用与区域可持续发展研究, 旁及资源科学的理论探讨。E-mail: fengzm@igsrr.ac.cn

件的 GRID 和 TABLE 模块提取了全国 10 km×10 km 栅格大小的地形起伏度；并从比例结构、空间分布和海拔高度特征 3 个方面系统分析了中国地形起伏度的分布规律及其与人口分布的相关性，试图为引导我国人口合理分布、促进人口合理布局提供科学依据和决策支持。

2 数据来源与研究方法

2.1 地形起伏度的概念及其内涵

本研究的地形起伏度，作为中国人居住环境自然评价的重要指标之一，服务于大尺度全国人居环境自然评价工作。在牛文元等人研究的基础上，我们将地形起伏度定义为：

$$RDLS = \{[\text{Max}(H) - \text{Min}(H)] \times [1 - P(A)/A]\} / 500 \quad (1)$$

式中： $RDLS$ 为地形起伏度； $\text{Max}(H)$ 和 $\text{Min}(H)$ 分别为区域内的最高与最低海拔 (m)； $P(A)$ 为区域内的平地面积 (km^2)； A 为区域总面积。本文为全国大尺度的区域人居环境自然评价服务，筛选确定 10 km×10 km 栅格为基本评价单元，即 A 值为 100 km^2 。

牛文元等人采用区域海拔高差和全国海拔高差之比与区域非平地比例之乘积度量了中国分省的地形起伏度，取值介于 0-0.45 之间，区域间差异不显著。本研究将我国地貌类型中低山的海拔高度 500 m 视为中国基准山体高度^[8]，由此在扩大区间范围的同时，地形起伏度作为独立数值具备了地理学意义：地形起伏度的值为 1 的几倍则表示了其地形起伏为几个基准山体的高度，小于 1 则表明低于一个基准山体的起伏。对于平地的界定，有研究结果提出最大高差提取的最佳统计单元为 21 km^2 ，由于本文是基于 1 km×1 km 栅格数据的提取，服务于宏观尺度上的区域性评价，为此，在参考了中国地貌全图研制方法及地形起伏度划分类型^[19, 20]等成果的基础上，本文确定的判断标准为 25 km^2 内的最大高差小于等于 30 m 即为平地。

2.2 数据来源

本研究使用的数据主要包括中国 1:100 万数字高程模型数据、中国纬度栅格数据和中国经度栅格数据。数字高程模型数据由全球 30 秒数字高程模型 (GTOPO30) (来源于 USGS) 中获得的中国数字高程模型，GTOPO30 是美国地质调查局 (U.S. Geological Survey, 简称 USGS) 的地球资源观测卫星 (Earth Resources Observing Satellite, 简称 EROS) 数据中心生产的全球数字高程模型，它基本上可以满足大尺度范围内的研究需要，如地形模拟、生态学研究等等，其空间分辨率为 30'。在 ARCARC/INFO 软件的支持下，全国纬度栅格数据和全国经度栅格数据由全国数字高程模型提取得到，精度为 30'。

2.3 数据预处理

在进行处理运算前，首先对所有图形数据进行预处理，即对图形进行投影变换。投影方式采用 ALBERS 等积圆锥投影 (Krasovsky_1940_Albers)，再通过重采样，将栅格大小转换为 1 km×1 km 的网格。该变换采用 ARC/INFO 软件的 project 和 resample 两个命令实现，确保输出的图形是统一的投影方式与精度。

2.4 提取方法

本研究地形起伏度的提取主要采用窗口分析法等方法，利用 ARC/INFO 软件的 GRID 和 TABLE 模块实现。全国范围内，以 10 km×10 km 栅格大小为单元开辟研究栅格区，以其为操作单元逐个栅格区提取地形起伏度。

2.4.1 栅格区内 $[\text{Max}(H) - \text{Min}(H)]$ 的提取 开辟 10 km×10 km 大小的栅格区作为操作单元，先后提取该栅格区内高程的最大值 $\text{Max}(H)$ 和最小值 $\text{Min}(H)$ ，将此值赋予该栅格区内的所有栅格，生成两个新的数据层；运算两个数据层的差值，得到逐个栅格区的 $[\text{Max}(H) - \text{Min}(H)]$ 。该运算过程可以通过 Block range 函数实现。

2.4.2 非平地比例 $[1 - P(A)/A]$ 的提取 平地的定义，在参考了中国地貌全图研制方法及地形起伏度划分类型^[18-20]等研究成果的基础上，本文确定的判断标准为 25 km² 内的最大高差小于等于 30 m。

首先，提取 25 km² 内的最大高差。采用目前使用最为广泛的窗口分析法，分析的窗口大小采用 25 km²^[18, 21]。具体步骤为：以每个栅格为中心，在 5 km×5 km 的范围内，分别提取分析窗口内的高程的最大值与最小值，生成最大值图层与最小值图层；运算两个数据层的差值，得到最大高差值，将此值赋予该栅格区的中心栅格，由此得到逐个栅格的最大高差值。此过程可以通过 Focal range 函数和 Select Tools 函数实现。

其次，非平地比例的提取。从上述的最大高差值数据层提取出最大高差小于等于 30 m 的栅格，计算栅格区内 10 km×10 km 的平地栅格总数目，并运算求得逐个栅格区内的非平地的比例，即 $[1 - P(A)/A]$ 。该运算过程可以通过 Select Tools 等函数实现。

2.4.3 地形起伏度 RDLS 的最终提取 将上述 (1) (2) 步骤的结果数据层进行相乘运算，结果层再除以 500 (m) 即实现地形起伏度的最终提取。为了避免各项操作的误差及后续的更改与校对，本研究通过编写 AML 程序在 ARC/INFO 中计算获取了全国地形起伏度。

3 中国地形起伏度的分布规律

图 1 为中国地形起伏度空间分布图。由图 1 可知，中国地形起伏度空间分布整体趋势为西部高于东部，南部高于北部。最高值分布在藏东南—横断山区和天山山地区，除一些巨大的盆地外，由此二处向两侧逐渐降低。最低值分布在东北平原、华北平原和塔里木盆地，四川盆地、内蒙古高原、江南地区、华南地区为次低值区域。

表 1 是以栅格为单元的中国地形起伏度的统计分析结果。由表 1 可以看出，中国地形起伏度表现为高值地形起伏度对应高值相对高差与低值平地比例，反之亦然。图 2 为中国地形起伏度比例分布及其累积频率曲线。由图 2 可知，中国地形起伏度以低值为主，当地形起伏度达到 0.50，即半个基准山体高度时 (相对高差不超过 250 m)，累积频率已

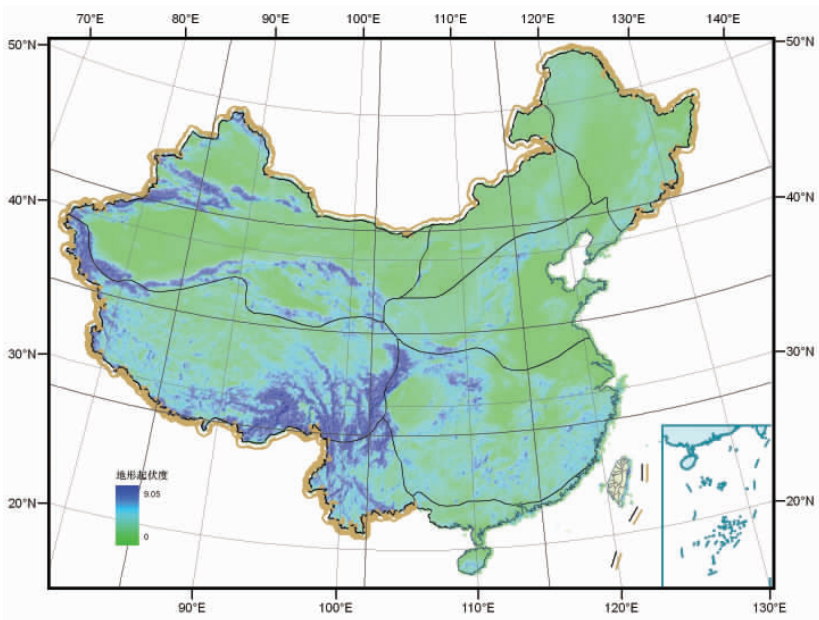


图 1 中国 10 km×10 km 地形起伏度

Fig. 1 The China RDLS of 10 km×10 km grid size

经达到 42.63%，其中平地占 16.04%；当地形起伏度达到 1 时（相对高差不超过 500 m），累计频率已经超过 63.68%；当地形起伏度达到 2 时（相对高差不超过 1000 m），累计频率已经超过 86.69%；地形起伏度超过 3 的比例只有 4.94%，说明中国的地形起伏度明显偏重低值。

在对中国地形起伏度主要参数进行统计分析的基础上，我们分析了中国地形起伏度与经度、纬度和海拔高度的相关关系，并进一步选取具有代表性的三条纬度线和三条经度线，分析地形起伏度的空间变化规律，揭示了中国地形起伏度的经度、纬度与海拔高度规律性。

3.1 经度规律性

图 3 为中国地形起伏度随经度变化曲线。由图 3a 可知，整体而言，中国的地形起伏度随经度增高呈现逐渐降低趋势，曲线的变化趋势符合我国西部多山地、东部多平原的地貌特征。地形起伏度随经度变化过程中在 77°-93°E 经度段存在一处“低谷”，是由于此处包括了地势较缓和的塔里木盆地和准噶尔盆地；93°-103°E 经度段的“高峰”则

表 1 地形起伏度主要参数统计

Tab. 1 The maximum fall and the ratio of plain corresponding to the RDLS

地形起伏度值域	[Max(H) - Min(H)](m)	P(A)/A
0-0.5	0-249	0-1
0.5-1	250-499	0-1
1-2	500-999	0-0.62
2-3	1000-1499	0-0.32
3-4	1500-1999	0-0.15
4-5	2000-2498	0-0.09
5-6	2500-2995	0-0.08
6-7	3012-3485	0-0.03
7-8	3583-3841	0-0.02
8-9	4077-4150	0
9-10	4529	0

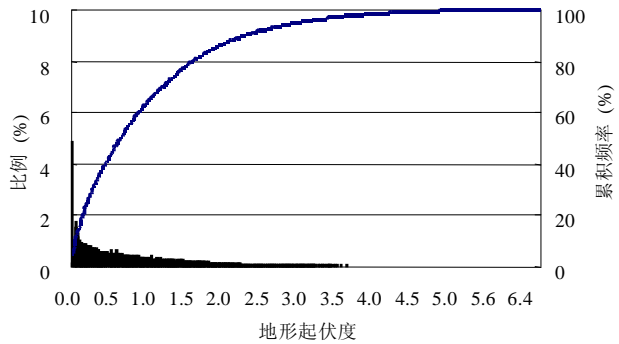
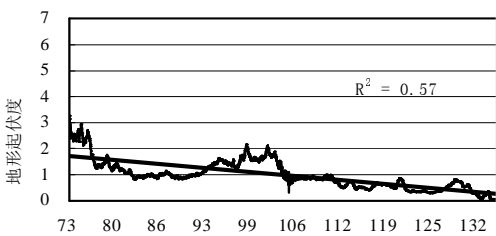
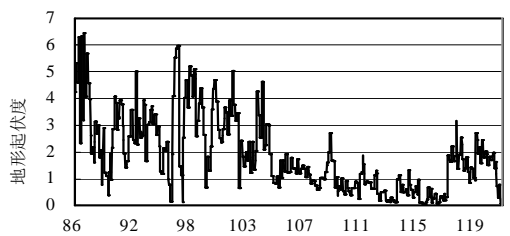


图 2 中国地形起伏度分布比例及累积频率

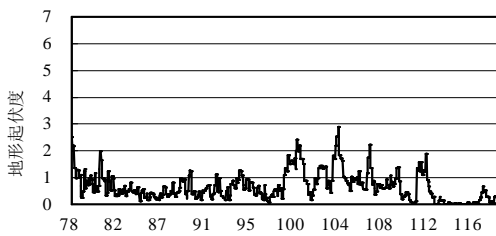
Fig. 2 The proportion and accumulative frequency of the RDLS



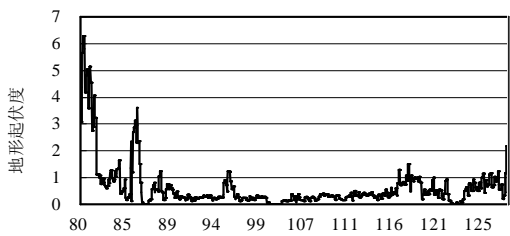
(a) 平均值



(b) 28°N 纬度线



(c) 35°N 纬度线



(d) 42°N 纬度线

图 3 中国地形起伏度随经度变化图

Fig. 3 The change of the RDLS in China along with the increase of longitude

是由于此处位于起伏度很高的藏东南—横断山区和祁连山脉。图 3 中 (b)、(c)、(d) 分别为 28°N、35°N、42°N 纬度线 (图 1) 附近地形起伏度随经度变化曲线。28°N 纬度线上的地形起伏较大且表现为“前高中低后起”，是由于此线按经度由低至高依次穿过起伏度较高的喜马拉雅山脉和横断山脉、起伏度较低的四川盆地和长江中下游平原与中等起伏的江南丘陵山地。35°N 纬度线的地形起伏度相对和缓且呈现“前低中高后伏”，是由于此线西起和缓的藏北高原，中段 98°-112°E 经度位于地形起伏度较高的青藏高原、黄土高原与华北平原的交接地带，随后没入地形起伏很低的华北平原。42°N 纬度线的地形起伏度表现为“头高身缓”，起点是起伏度较高的天山山脉与塔里木盆地交接地区，高于 86°E 经度段依次为地势缓和的吐哈盆地、内蒙古高原和东北平原，所以地形起伏度后段呈现持续平稳的低值。

3.2 纬度规律性

图 4 为我国地形起伏度随纬度变化曲线。由图 4(a) 可知，整体而言，中国的地形起伏度随纬度增高呈现逐渐降低的趋势，曲线的变化趋势符合我国南部多山地、丘陵，北部多平原、高原的地貌特征。地形起伏度随纬度变化在 21°N 存在“低谷”，是由于此处为江南丘陵山地，其起伏度显著低于随后 21-33° 纬度段的横断山区和喜马拉雅山脉，导致此处拐点。纬度高于 33° 的地区分布着华北平原、黄土高原、内蒙古高原、塔里木盆地和东北平原等起伏和缓地区，因此曲线呈持续下降趋势。

图 4 中 (b)、(c)、(d) 分别为 85°E、102°E、115°E 经度线 (图 1) 附近地形起伏度随纬度变化曲线。85°N 经度线起点为起伏度较高的喜马拉雅山脉和青藏高原，38°-41°N 和 44°-46°N 纬度段两处“低谷”分别地处地势缓和的塔里木盆地和准噶尔盆地，中间越过天山山脉。102°E 经度线上地形起伏度呈现一大一小两处“高峰” (横断山脉和青藏高原的巴颜喀拉山脉、祁连山脉) 和末端的“低谷” (内蒙古高原)。115°E 经度线起点为起伏度较高的江南丘陵山地，32°-39°N 纬度段的“低谷”为地势平坦的华北平原，随后纬度高于

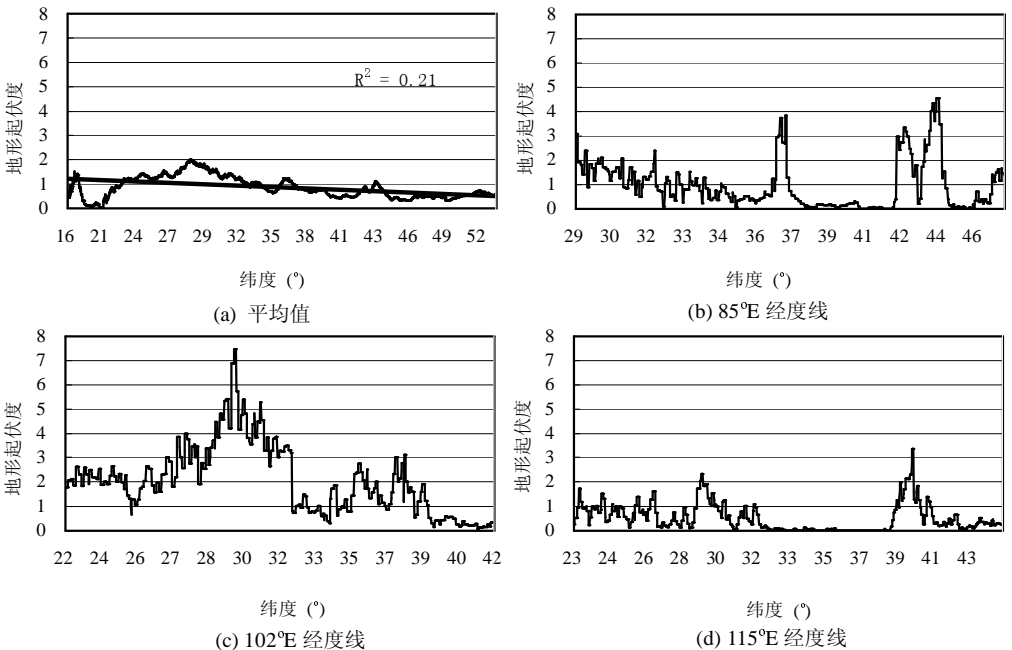


图 4 中国地形起伏度随纬度变化图

Fig. 4 The change of the RDLS in China along with the increase of latitude

39°-41°N 的“高峰”为华北平原向内蒙古高原的过渡地区华北山地所在。

3.3 海拔高度规律性

图 5 为中国地形起伏度随海拔高度的变化及其在各海拔高度段的分布。由图 5 可以看出, 随着海拔高度的增加, 我国地形起伏度呈现逐渐升高的趋势。全国地形起伏度随海拔高度的变化, 在 2673 m 存在一处明显的拐点, 这是由于 2400-2673 m 海拔高度段位于青藏高原与周边塔里木盆地、河西走廊、黄土高原、四川盆地和云贵高原交接地带, 此处海拔高度陡变, 导致地形起伏度很高; 随后 2673-3300 m 段包括了地势缓和的柴达木盆地, 地形起伏度不高, 由此形成 2673 m 处的拐点。同时, 由图 5 也可以看出, 随海拔高度的增加, 地形起伏度的变化幅度增大。当海拔高于 5500 m 段, 曲线的变化幅度超过之前最高变幅的 2-3 倍以上, 这是由于此处多位于喜马拉雅山脉和昆仑山脉的西部, 地形起伏大且破碎程度很高的缘故。

由地形起伏度在各海拔高度段的分布可以看出, 整体而言, 全国低海拔地区以低值地形起伏度为主, 高海拔地区以高值地形起伏度为主。随着海拔高度的增加, 全国高值地形起伏度的分布比例逐渐升高, 表现出了很强的高度规律性。

4 中国的地形起伏度与人口分布的相关性

在对中国地形起伏度的经度、纬度与海拔高度规律性进行实证分析的基础上, 基于全国人居环境自然评价的需要, 我们定量计算了全国及不同区域地形起伏度与人口分布之间的相关性, 以期在栅格尺度上定量揭示地形起伏度对中国人口分布的影响。

4.1 中国地形起伏度与人口分布的相关性

本文所采用的人口数据为 2000 年全国人口密度栅格数据, 由国家科学数据共享工程—地球系统科学数据共享网提供。该数据采用全国 2000 年分县人口数据, 运用基于格点生成法的人口密度空间分布模拟模型, 通过融合净第一性生产力、数字高程、城市规模和密度、交通基础设施密度等数据集, 模拟了 1 km×1 km 栅格尺度中国人口的空间分布, 较好地反映了中国人口分布的空间格局与地域差异, 应用较为广泛^[22]。本文在 ARC/GIS 的空间分析模块下, 将地形起伏度与 2000 年中国人口密度栅格数据进行空间配准以后, 运用区域统计分析模型, 统计了不同地形起伏度的人口密度值; 随后在 SPSS 软件的支持下, 制成地形起伏度与人口密度相互关系的散点图; 观察并剔除异常值后进行相关性分析, 结果表明 (图 6): 全国地形起伏度与人口密度间存在较强的相关性, 二者对数曲线拟合度高达 0.91。由此可见, 地形起伏度是影响人口分布的重要因素之一, 应成

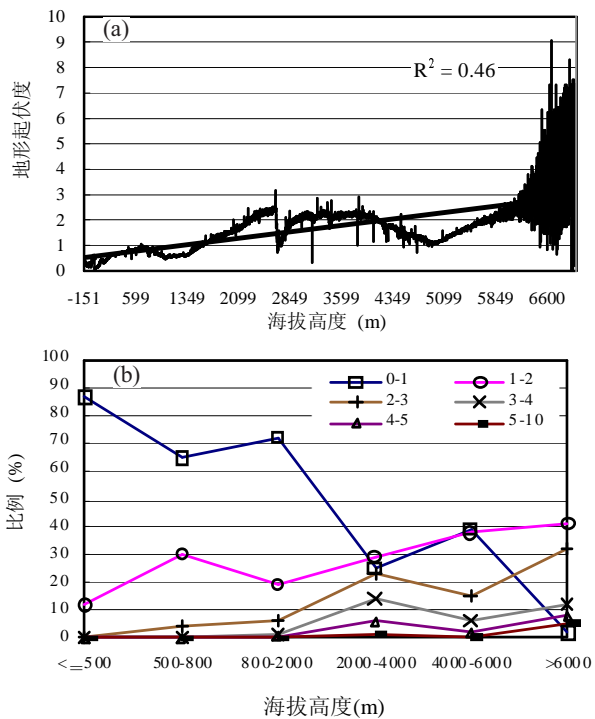


图 5 中国地形起伏度随海拔高度变化图及其在各海拔高度段的分布比例

Fig. 5 The change of the RDLS in China along with the increase of altitude and its proportions at different altitudes

为人居环境自然评价的一个重要指标。

图 7 为中国不同地形起伏度上的人口累积分布曲线。由图 7 可知，地形起伏度对人口分布的影响较为显著，全国大部分人口分布于低起伏地区。当地形起伏度为 0，即平地（相对高差 ≤ 30 m）时，相应的全国人口占到总量的 20.83%；当地形起伏度等于 1，即一个基准山体高度（相对高差 ≤ 500 m）时，全国累积人口数已达到总量的 85.37%；当地形起伏度达到 2.0 时（相对高差 ≤ 1000 m），人口数比例达到 97.58%；地形起伏度超过 3（相对高差 ≤ 1500 m）的累计人口比例只有 0.57%，即全国 85%以上的人口居住在地形起伏小于 1 个基准山体的地区，不足 1%的人口居住在地形起伏大于 3 个基准山体的区域。

4.2 地形起伏度与人口分布相关性的区域差异

在国家尺度对中国的地形起伏度与人口分布的相互关系进行分析的基础上，本文进一步探讨了中国地形起伏度与人口分布相关性的区域差异。研究中采用任美镠、包浩生 1990 年提出的中国自然地理方案，将全国共分为 8 个自然区，即东北区、华北区、华中区、华南区、西南区、内蒙古区、西北区和青藏区（图 1）。

表 2 为中国 8 个自然区地形起伏度与人口分布的相关性统计结果。由表可以看出，整体而言，全国大部分地区随着地形起伏度的增高，人口密度有减小的趋势，区域差异显著。其中，东北、华北、华中和华南四区区域内的平均海拔均在 800 m 以下，海拔高度差异不大，地形起伏度对区域内人口分布的影响较为明显，二者的拟合度均在 0.70 以上；水分条件是限制西北地区人口分布的主要因子，大量人口集中分布于盆地绿洲内，地形起伏度与人口密度的线性拟合度为 0.67；我国西南大部分属于高山深谷区，具有独特的人口垂直分布现象^[23, 24]，人口分布与地形起伏度的相关性仅为 0.61；内蒙古和青藏地区海拔高度与地形起伏度区内差异不明显，人口的分布更多地受气候和植被覆盖等自然条件的制约，

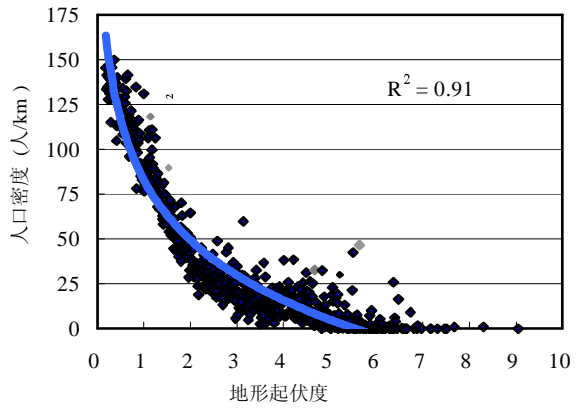


图 6 中国地形起伏度与人口密度的关系
Fig. 6 Relationship between RDLS and population

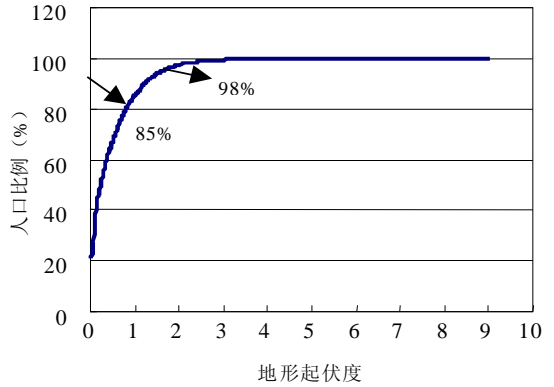


图 7 不同地形起伏度上人口的累积分布
Fig.7 Accumulative frequency of population at different RDLS

表 2 中国不同地区地形起伏度与人口分布的相关性

Tab. 2 Relationship between RDLS and population in different zones

自然地理区	地形起伏度变幅	平均海拔高度(m)	与人口密度的相关程度
东北区	0-2.28	417	0.70
华北区	0-4.10	663	0.73
华中区	0-8.15	525	0.79
华南区	0-2.89	207	0.78
西北区	0-6.28	1877	0.67
西南区	0-6.89	1865	0.61
内蒙古区	0-3.75	1062	0.17
青藏区	0-9.05	4536	0.05

地形起伏度与人口分布几乎不存在相关性。

5 结论与讨论

本文基于 1:100 万中国栅格数字高程模型, 采用窗口分析等方法, 利用 ARC/INFO 软件的 GRID、TABLE 模块, 提取了基于栅格尺度的中国地形起伏度, 并从比例结构、空间分布和高度特征 3 个方面系统分析了中国地形起伏度的分布规律及其与人口分布的相关性。研究表明:

(1) 中国的地形起伏度以低值为主, 63% 的区域地形起伏度低于 1 个基准山体 (相对高差 ≤ 500 m) 的高度, 其中平地 (相对高差 ≤ 30 m) 比例占全国的 16%; 地形起伏度越高的地区, 平地比例越低, 反之亦然。

(2) 中国的地形起伏度呈现西高东低、南高北低的空间格局, 最高值为横断山区、天山山脉地区, 最低值为东北平原、华北平原和塔里木盆地; 随着经度、纬度的增高, 地形起伏度呈现逐渐下降的趋势, 28°N、35°N、42°N 纬线和 85°E、102°E、115°E 经线上地形起伏度符合我国三大阶梯的地貌特征。

(3) 随着海拔高度的增加, 地形起伏度呈现逐渐升高趋势, 其变化幅度也增大; 同时, 高值起伏度的分布比例逐渐升高, 低值起伏度分布比例逐渐降低。

(4) 地形起伏度对区域人口分布有较强的影响, 全国 85% 以上的人口居住在地形起伏度小于 1 个基准山体 (相对高差 ≤ 500 m) 的地区, 人口密度与地形起伏度的对数曲线拟合度为 0.91。

(5) 地形起伏度与人口分布的相关性区域差异显著。东北、华北、华中和华南区地形起伏度与人口分布显著相关, 内蒙古与青藏地区地形起伏度与人口分布却不存在相关性。

综上所述, 本文提出的地形起伏度概念及其计算公式, 地理意义清晰, 可以较好地反映中国的区域地形地貌特征, 定量揭示中国地形地貌特征的空间规律性。实证分析表明, 地形起伏度作为影响中国人口分布的重要因素之一, 应该成为中国人居环境自然评价的一个重要指标。我们认为, 地形起伏度在大尺度和区域人居环境自然评价方面具有很强的实用性, 但在小尺度人居环境自然评价方面的准确性和实际应用价值尚有待进一步探讨。

参考文献 (References)

- [1] A·N·斯皮里顿诺夫. Geomorphological Mapping. Beijing: Geology Press, 1956. 81-84. [A·N·斯皮里顿诺夫. 地貌制图学. 北京: 地质出版社, 1956. 81-84.]
- [2] Pachauri A K, Gupta P V, Chander R. Landslide zoning in a part of the Garhwal Himalayas. Environmental Geology, 1998, 36(3-4): 25-334.
- [3] Saha A K, Gupta R P, Sarkar I et al. An approach for GIS-based statistical landslide susceptibility zonation: With a case study in the Himalayas. Landslides, 2005, 2(1): 61-69.
- [4] Chen Jianjun, Zhang Shuwen, Li Hongxing et al. Assessment on sensitivity of soil erosion in Jilin Province. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2005, 25(3): 49-53. [陈建军, 张树文, 李洪星等. 吉林省土壤侵蚀敏感性评价. 水土保持通报, 2005, 25(3): 49-53.]
- [5] Ma Xiaowei, Yang Qinke. A study on indexes choice and extraction of China potential soil and water loss based on GIS. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2001, 21(2): 42-44. [马晓微, 杨勤科. 基于 GIS 的中国潜在水土流失评价指标研究. 水土保持通报, 2001, 21(2): 42-44.]
- [6] Yan Mancun, Li Huamei, Wang Guangqian. Quantitative assessment of geological-environmental quality of the land along Guangdong coast. Journal of Engineering Geology, 2000, 8(2): 416-425. [闫满存, 李华梅, 王光谦. 广东沿海陆地地质环境质量定量评价研究. 工程地质学报, 2000, 8(2): 416-425.]
- [7] Nan Qiuju, Hua Luo. Recent progress of the soil erosion in the world. Journal of Capital Normal University (Natural Science Edition), 2003, 24(2): 86-95. [南秋菊, 华璐. 国内外土壤侵蚀研究进展. 首都师范大学学报(自然科学版),

- 2003, 24(2): 86-95.]
- [8] Liu Xinhua, Yang Qinke, Tang Guo'an. Extraction and application of relief of China based on DEM and GIS Method. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2001, 21(1): 57-62. [刘新华, 杨勤科, 汤国安. 中国地形起伏度的提取及在水土流失定量评价中的应用. *水土保持通报*, 2001, 21(1): 57-62.]
- [9] Kodagali V. Influence of regional and local topography on the distribution of polymetallic nodules in central Indian Ocean Basin. *Geo-Marine Letters*, 1988, 8(3): 173-178.
- [10] Yang Duogui, Chen Shaofeng, Wang Haiyan et al. Evaluation and analysis of the sustainability of Yunnan Province. *Geography and Territorial Research*, 2001, 17(3): 1-6. [杨多贵, 陈劲锋, 王海燕等. 云南省可持续发展能力研究与评价. *地理学与国土研究*, 2001, 17(3): 1-6.]
- [11] Xu Yan, Zhou Ronghua. A preliminary study on advances in assessment of eco-environment quality in China. *Arid Land Geography*, 2003, 26(2): 166-172. [徐燕, 周华荣. 初论我国生态环境质量评价研究进展. *干旱区地理*, 2003, 26(2): 166-172.]
- [12] Zhu Hui. The actuality and assessment of eco-environment quality of Qinghai Province. *Journal of Qinghai Environment*, 2004, 14(1): 12-14. [朱辉. 青海省生态环境现状及其质量评价. *青海环境*, 2004, 14(1): 12-14.]
- [13] Yao Jian, Ding Jing, Ai Nanshan. Assessment of ecological vulnerability in upper reaches of Minjiang River. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2004, 13(4): 380-383. [姚建, 丁晶, 艾南山. 岷江上游生态脆弱性评价. *长江流域资源与环境*, 2004, 13(4): 380-383.]
- [14] Li Zhixiang, Tian Mingzhong, Wu Fadong et al. Ecological environment evaluation on Bashang District in Hebei Province. *Geography and Geo-Information Science*, 2005, 21(2): 91-93. [李志祥, 田明中, 武法东等. 河北坝上地区生态环境评价. *地理与地理信息科学*, 2005, 21(2): 91-93.]
- [15] Qi Qingwen, He Daming, Zou Xiuping et al. Theory, method and technology on 3S based ecosystem monitoring, evaluation and adjustment along Yunnan border area. *Progress in Geography*, 2005, 24(2): 2-12. [齐清文, 何大明, 邹秀萍等. 云南沿边境地带生态环境 3S 监测、评价与调控研究. *地理科学进展*, 2005, 24(2): 2-12.]
- [16] Kodagali V. Influence of regional and local topography on the distribution of polymetallic nodules in central Indian Ocean Basin. *Geo-Marine Letters*, 1988, 8(3): 173-178.
- [17] Niu Wenyuan, Harris W M. China: The forecast of its environmental situation in the 21st century. *Journal of Environmental Management*, 1996, 47: 101-114.
- [18] A Research Group on the Sustainable Development Strategy of CAS. 2005 Strategic Reports: China's Sustainable Development. Beijing: Science Press, 2005. 273. [中国科学院可持续发展战略研究组. 2005 中国可持续发展战略报告. 北京: 科学出版社, 2005. 273.]
- [19] Chen Zhiming, Liu Zhendong, Yu Xiubo. The compilation of China geomorphological map. *Cartography Special*, 1995. 36-38. [陈志明, 刘振东, 于秀波. 中国地貌全图研制. 专题制图, 1995. 36-38.]
- [20] Chen Zhiming. On the principle, contents and methods used to compile the Chinese geomorphological maps: Taking the 1:4000000 geomorphological map as an example. *Acta Geographica Sinica*, 1993, 48(2): 105-113. [陈志明. 论中国地貌图的研制原则、内容与方法: 以 1:4000000 全国地貌图为例. *地理学报*, 1993, 48(2): 105-113.]
- [21] Wang Hong, Wang Jun. Preliminary study on specification of basic terrain-unit dataset. *Science of Surveying and Mapping*, 2004, 29(3): 22-25. [王红, 王均. 国家基本地理单元数据集的初步研究. *测绘科学*, 2004, 29(3): 22-25.]
- [22] Tu Hanming, Liu Zhendong. Demonstration on optimum statistic unit of relief amplitude in China. *Journal of Hubei University (Natural Science)*, 1990, 12(3): 266-271. [涂汉明, 刘振东. 中国地势起伏度最佳统计单元的求证. *湖北大学学报(自然科学版)*, 1990, 12(3): 266-271.]
- [23] Liu Jiyuan, Yue Tianxiang, Wang Ying'an et al. Digital simulation of population density in China. *Acta Geographica Sinica*, 2003, 58(1): 17-24. [刘纪远, 岳天祥, 王英安等. 中国人口密度数字模拟. *地理学报*, 2003, 58(1): 17-24.]
- [24] Zhang Shanyu. Study on Vertical Distribution of the Population and Reasonable Redistribution in the Chinese mountain areas. Shanghai: East China Normal University Press, 1996. 162-167. [张善余. 人口垂直分布规律和中国山区人口合理再分布研究. 上海: 华东师范大学出版社, 1996. 162-167.]
- [25] Dong Chun, Liu Jiping, Zhao Rong et al. A discussion on correlation of geographical parameter with spatial population distribution. *Remote Sensing Information*, 2002, (4): 61-64. [董春, 刘纪平, 赵荣等. 地理因子与空间人口分布的相关性研究. *遥感信息*, 2002, (4): 61-64.]

The Relief Degree of Land Surface in China and Its Correlation with Population Distribution

FENG Zhiming, TANG Yan, YANG Yanzhao, ZHANG Dan

(Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China)

Abstracts: The relief degree of land surface (RDLS) is an important factor in describing the landform macroscopically. Under the new proposed concept, based on the macro-scale digital elevation model data, by using ARC/INFO software, the RDLS of 10km×10km grid size is extracted and mapped in China. Then this paper systemically depicts the distribution rules of RDLS in China and its correlation with population distribution by analyzing the ratio structure, spatial distribution and altitudinal characteristics of the RDLS. The distribution rule is elaborately expatiated in three separate ways: the ratio structure, the accumulative frequency, and the change along with the longitude and latitude, which clearly reflects the regional topographic framework of China. The result shows that the majority of the RDLS is low in China, for more than 63% of the area in China with the RDLS lower than 1 (relative altitude ≤ 500 m). As for the spatial distribution, in general, the RDLS of the west is higher than that of the east and so is the south than the north. Specifically, the Hengduan Mountains and the Tianshan Mountains regions have the highest RDLS, while the Northeast China Plain, the North China Plain and the Tarim Basin have the lowest ones. The RDLS of 28°N, 35°N and 42°N as well as of 85°E, 102°E and 115°E accords well with the three topographic steps in China. The RDLS of China decreases with the increase of longitude and the change clearly illustrates the landform characteristics that most of the mountains are located in the west and most plains in the east of China. The RDLS of China decreases with the increase of latitude as well and the trend shows that there are more mountains and hills in South China and more plains and plateaus in North China. In the vertical direction, the ratio of high RDLS increases with the increase of altitude. Finally, this paper analyzes the correlation between the RDLS and population distribution in China and the result shows that the RDLS is an important factor affecting the distribution of population and most people in China live in low RDLS areas. To be more specifically, where the RDLS is zero, the population amounts for 0.83% of the total; where the RDLS is less than 1 (relative altitude ≤ 500 m), the population reaches 20.83%; where the RDLS is less than 2, the population amounts for 97.58% of the total; and where the RDLS is bigger than 3, the population only amounts for 0.57%. That is to say, more than 85% of the population in China lives in areas where the RDLS is less than 1 and less than 1% of the population lives in areas where the RDLS is bigger than 3. The correlations between the RDLS and population distribution of eight regions in China are different. The correlation is obvious in northeast, north, central and south China, while it is nearly nonexistent in Inner Mongolia and the Qinghai-Tibet region.

Key words: relief degree of land surface (RDLS); population distribution; GIS; China