

## 基于SRTM数据的中国 1:100 万SOTER地形体的构建<sup>①</sup>

吴运金, 赵玉国, 张甘霖\*

(土壤与农业可持续发展国家重点实验室(中国科学院南京土壤研究所), 南京 210008)

**摘要:** 集土壤与地形数据于一体的 SOTER 数据库, 较单一的土壤或地形数据库包含有更多的信息, 这能够为日益锐化的人口与自然资源之间的矛盾解决提供更有力的数据支持。而全国尺度 SOTER 数据库的建立将能够从国家尺度为该矛盾的解决提供更多的支撑。本文利用新的数据源(SRTM)和数字土壤制图技术, 量化地构建了中国 1:100 万 SOTER 地形体。通过本研究发现, 采用 90 m 分辨率的 SRTM 数据来构建 1:100 万的 SOTER 地形体的结果是令人满意的, 可以实现无缝接边, 与传统的方法相比, 更准确、更快速、更一致。同时, 也提供了一个量化构建小比例尺地形体单元的方法, 为小比例尺 SOTER 数据库的建设提供方法论上的支持, 对实现农业和环境资源的有效管理具有重要的作用。

**关键词:** SOTER; SRTM; 地形体; 量化

**中图分类号:** S159.2

SOTER 是土壤-地体数字化数据库 (soil and terrain digital databases) 的简写。1986 年 1 月, 国际土壤学会 (ISSS) 在荷兰的瓦格宁根召集的一次以土壤和有关学科的国际研讨会上, 讨论了带有数据库的数据化国际土壤资源图的建立和意义, 即首次提出了 SOTER 的概念<sup>[1]</sup>, 其建立的基本思想是: 从土地的概念出发, 在地形、岩性、土壤要素的基础上综合构建出 SOTER 的单元图, 并以此为属性数据的赋值框架将大量相关属性数据有机组织起来, 两个数据之间通过一个独立的用户标识符联结起来。较之其他类型的数据库, SOTER 具有以下特点: ①单元属性的均一性, 应用方便。SOTER 单元的划分不仅考虑到土壤的差异, 而且综合考虑到地形、母质的差异, 较单一的土壤类型单元具有更好的均一性, 可直接作为评价单元, 为开展相关评价研究提供方便; ②信息丰富, 应用面广。SOTER 不仅包括与地形、岩性和土壤相关的数据, 而且包含其他的辅助数据, 如土地利用数据、气候数据。另一方面, SOTER 不仅包括空间数据, 而且包含了大量的相关属性数据, 且空间数据和属性数据通过特定的标识符实现了有机的联结, 从而大大拓宽了数据库的应用面; ③信息采集标准统一, 易于交流共享。SOTER 为其数据库建立制定了一套系统化、标准化的规则, 所以为 SOTER 数据信息的交流、共享提供了方便; ④具有动态管理的功能。通过对数据库的定期

更新、维护, 不仅为用户提供了及时准确的信息, 而且为用户进行动态研究提供了方便。正是因为上述特点赋予了 SOTER 强大的生命力, 使得 SOTER 的方法得到了广泛的应用和发展, 主要应用在: ①土地资源潜力评价 (包括土地适宜性评价、土地生产力评价等), ISRIC 在肯尼亚、乌拉圭、阿根廷等地运用 SOTER 手段开展了这方面的研究<sup>[2]</sup>, 中国在海南也做了基于 SOTER 热带作物的适宜性评价<sup>[3]</sup>; ②土地退化及侵蚀危险性评价, 如在中国海南省开展的土壤侵蚀评价研究<sup>[4]</sup>, 正在开展的 GLADA (global assessment of land degradation and improvement) 研究<sup>[5]</sup>; ③全球变化的研究, 全球环境基金项目分别在巴西、印度、肯尼亚和约旦做了关于土壤有机碳储量和变化的研究<sup>[6-9]</sup>。这些研究对于环境资源的可持续利用具有重要的现实意义, 可见 SOTER 建立的重要意义。

我国是一个人口大国, 人地矛盾突出, 人均耕地面积小, 而且随着城市化进程加快, 我国土地资源的退化也越来越严重, 解决这些矛盾, 首先是要对我国土地资源的现状进行评价, 哪些土地资源具有一定的适宜性? 哪些土地资源存在可能的危险性? 这些都迫切地需要包含土壤、地形、岩性以及土地利用等信息在内的数据库的支持。由于 SOTER 是一个同时包含有土壤、地形、岩性以及土地利用等相关信息的数据库, 比单纯的地形单元或者单纯的土壤单元具有优越性,

①基金项目: 中国科学院知识创新工程方向性项目 (KZCX2-YW-409) 和欧盟第七框架计划项目 (FP7-211758) 资助。

\* 通讯作者 (glzhang@issas.ac.cn)

作者简介: 吴运金 (1976—), 男, 安徽安庆人, 博士研究生, 主要从事资源环境与遥感应用研究。E-mail: yjwu@issas.ac.cn

比前者包含更多的土壤属性,比后者在空间上具有更好的辨别特征,所以 SOTER 的概念引入了中国,但 SOTER 在中国的起步较晚,是 20 世纪 90 年代后期才引入我国的。中国科学院南京土壤研究所在国家自然科学基金、科学院特别支持和联合国发展计划署(UNDP)的资助下,组织海南、四川<sup>[10]</sup>、北京<sup>[11]</sup>、辽宁<sup>[12]</sup>和新疆等省(市)区进行了中比例尺(1:20 万~1:50 万) SOTER 的研究。之后,1:100 万山东<sup>[13]</sup>、湖北<sup>[14]</sup>的 SOTER 的建立也已经完成,并开展了相应的应用研究,尤其在海南开展了大量的应用研究工作,主要包括热带作物的适应性评价<sup>[3]</sup>、土壤质量评价<sup>[15]</sup>、侵蚀危险性评价<sup>[4]</sup>以及土壤多样性评价<sup>[16]</sup>等研究。这些研究,一方面为当地土地资源的有效管理提供了重要的支持,另一方面为全国范围的 SOTER 的建立奠定了基础。我国曾经试图建立全国 1:400 万 SOTER,但由于全国范围数据源以及定量化方法的限制,未能实现。然而,新的数字土壤制图技术和新的数据源的出现,为 SOTER 的发展和更新提供了新的支持。同时,随着 SOTER 的应用和发展,已经积累了许多修改 SOTER 手册<sup>[17]</sup>的建议。

SOTER 地形体是建立 SOTER 的基础,只有先建立地形体以后才能进一步建立 SOTER。传统的建立 SOTER 地形体的方法是在地貌图或者地形图的基础上,用手工的方法勾绘出地形单元,再利用数字化的方法输入计算机,用 GIS 进行管理。这种方法耗时、费力、不经济,而且会因手工输入容易带来错误,极大地限制了 SOTER 的发展。所以,本研究利用现已出现的数字土壤制图技术和 90 m 分辨率的 shuttle radar topography mission(SRTM)数字高程模型(DEM)数据,用完全定量化的方法,构建 1:100 万全中国 SOTER 地形体。该地形体的构建是以 1995 年修订的 SOTER 手册为基础,并作了部分修改。目的是为标准的 SOTER 数据的建设,提供一种更准确、更快速、更经济的建立 SOTER 的定量化的方法。中国 1:100 万地形体数据库包括空间数据库和属性数据库两部分,每一个空间单元表示一个在空间上一致的地形体单元,而属性数据记录了每一个空间单元的地形信息(包括海拔、坡度、起伏强度和二级地形类型),二者通过地形体单元 ID 进行关联。

## 1 材料和方法

### 1.1 工作基础

软件: ArcInfo for Windows XP; 硬件: DELL precision 390。研究区域: 66.76°~136.99° E, 16.07°~

54.99° N。

### 1.2 数据源

The shuttle radar topography mission (SRTM) 是全球尺度的最完全的高分辨率的地球表面的数字地形数据,数据几乎覆盖了全球 80% 的面积和几乎所有的陆地面积。其覆盖的范围从 N60° 到 S56°。SRTM 是由美国国家地理空间情报局(the National Geospatial-Intelligence Agency -NGA)、美国航空航天局(the National Aeronautics and Space Administration -NASA)、德国及意大利航天局共同承办的。原始的数据是 1 弧秒的精度,但仅在美国本土或者在 NGA 的同意下才能够获得,原始 1 弧秒精度的数据以 3 × 3 象元的面积重新采样到 3 弧秒,这个 3 弧秒精度的数据被用来全球尺度的 SOTER 的构建,这个数据精度在赤道附近大约相当于 90 m。Farr 等<sup>[18]</sup>的研究表明 SRTM 数据的绝对垂直方向的误差小于 9 m,比当初设计的 16 m 绝对垂直方向的误差的精确性要高,误差主要出现在地形陡峭的地方(如喜马拉雅山脉和安第斯山脉)和沙漠地区(如撒哈拉沙漠)。虽然如此,但这个数据具有空洞,也就是没有信息区域(NODATA),主要是在获取数据的过程中,使用的雷达信号可能受到干扰,水体和山脉阻挡了雷达回波信号,使得部分地区的数据就无法得到。虽然 SRTM 对大部分的地区进行了多次覆盖。仍然不能避免在获取的高程数据中出现空值。因此降低了 SRTM 数据的有用性,在进一步应用该数据之前,必须对空值区域做有效的填补。国际农业研究磋商组织-空间信息协会(CGIAR-CSI)提供了一个空值填充处理以后的 3 弧秒精度的数据。该数据的处理程序<sup>[19]</sup>是用 3 弧秒未处理数据产生 10 m 间隔的等高线数据,然后用这个等高线数据以及 ArcInfo TOPOGRID 工具<sup>[20-21]</sup>产生 DEM 数据,这个 DEM 数据再用来填补 SRTM 数据的空值,Jarvis 等<sup>[19]</sup>的研究表明用这种填补方法,大部分中尺度的信息都能够很好地体现。经过填充处理的数据能够从 CGIAR-CSI 网站下载。本研究也是采用这个数据。下载的是 GeoTiff 格式的 5 × 5 度,基准面为 WGS84 的数据,整个研究区域包括 62 个 SRTM 数据文件。将这 62 个图片格式的文件转换为 grid 格式的文件,再将这些文件融合(由于文件太大分为东西两部分),并用兰伯特方位角等积投影(lambert azimuthal equal area,投影中心为 35°N、103°E)进行投影定义以备使用。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 SOTER 地体单元的构建程序 SOTER 单

元的构建主要是基于土壤形成的景观特征：地形和岩性，每个 SOTER 单元都是相对均一的地形、岩性和土壤的组合物。自然地理是用于 SOTER 单元特征化的第一个区分指标。本文中使用的自然地理这一词的意义是对地球表面形态的描述。根据地形的起伏和坡度，它可最恰当地描述并尽可能地验证和识别主要地形。再根据海拔（海平面以上的绝对高度）和特征因子结合，可对一个地区进一步细分，描绘到地图上，也就是一级和二级主要地形，与主要或区域地形相应的地区，可根据岩石或母质进一步细分。到目前为止对 SOTER 单元的构建主要是通过手工的方式实现，DEM 数据使得量化构建 SOTER 单元成为可能<sup>[22-23]</sup>。Dobos 等<sup>[24]</sup>用数字地形和遥感数据就量化地构建 SOTER 地体单元做了初步研究，虽然研究结果

表明用这种方法很有发展前途，但需要开展进一步的研究。紧接着 Dobos 等<sup>[25]</sup>用 90 m 分辨率的 SRTM 数据作为基础数据，成功地构建了 1:100 万和 1:500 万的欧洲 SOTER 地体单元数据。这些研究的成功为本研究提供了方法的借鉴。所以，本研究的目的是基于 90 m 分辨率的 SRTM 数据，并以 SOTER 手册为基础，量化地构建中国 1:100 万 SOTER 地体单元。在本研究中 3 个地形因子：坡度、地势起伏强度和海拔用来构建 SOTER 地体单元。这 3 个地形因子是从数据高程模型数据获得，并根据 SOTER 手册标准（经过稍微修改，表 1）进行分类，将这 3 个地形因子叠加以后获得复合的地形图层，并将这个叠加后的图进行矢量化，再消除碎多边形，就得到最终的 SOTER 地体单元。具体的流程如图 1。

表 1 3 个地形因子的分类标准

Table 1 Classifications of elevation, slope and relief intensity

类别	高程 (m)	高程代码	坡度 (%)	坡度代码	起伏强度 (m/km <sup>2</sup> )	起伏强度代码	总代码 GRIDCODE
1	<10	10000	<0.5	1000	<50	100	11100
2	10 ~ 50	20000	0.5 ~ 2	2000	50 ~ 100	200	22200
3	50 ~ 100	30000	2 ~ 5	3000	100 ~ 150	300	33300
4	100 ~ 200	40000	5 ~ 10	4000	150 ~ 300	400	44400
5	200 ~ 300	50000	10 ~ 15	5000	>300	500	55500
6	300 ~ 600	60000	15 ~ 30	6000			66x00
7	600 ~ 500	70000	30 ~ 45	7000			77x00
8	1500 ~ 3000	80000	>45	8000			88x00
9	>3000	90000					9xx00

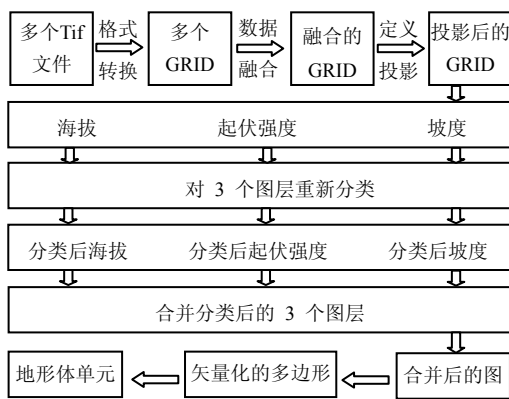


图 1 SOTER 地体单元构建的流程

Fig.1 Flowchart to delineate SOTER Terrain Units

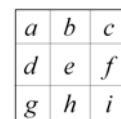


图 2 3×3 窗口示例

Fig.2 An example of a 3 by 3 cells moving window

$$slope = \arctan\left(\sqrt{\left(\frac{dz}{dx}\right)^2 + \left(\frac{dz}{dy}\right)^2}\right) \times 57.29587 \quad (1)$$

式中，*slope*为坡度，*dz/dx*、*dz/dy*用下列公式计算：

$$\frac{dz}{dx} = \frac{((c + 2f + i) - (a + 2d + g))}{(8 \times x\_cell\_size)} \quad (2)$$

$$\frac{dz}{dy} = \frac{((g + 2h + i) - (a + 2b + c))}{(8 \times y\_cell\_size)} \quad (3)$$

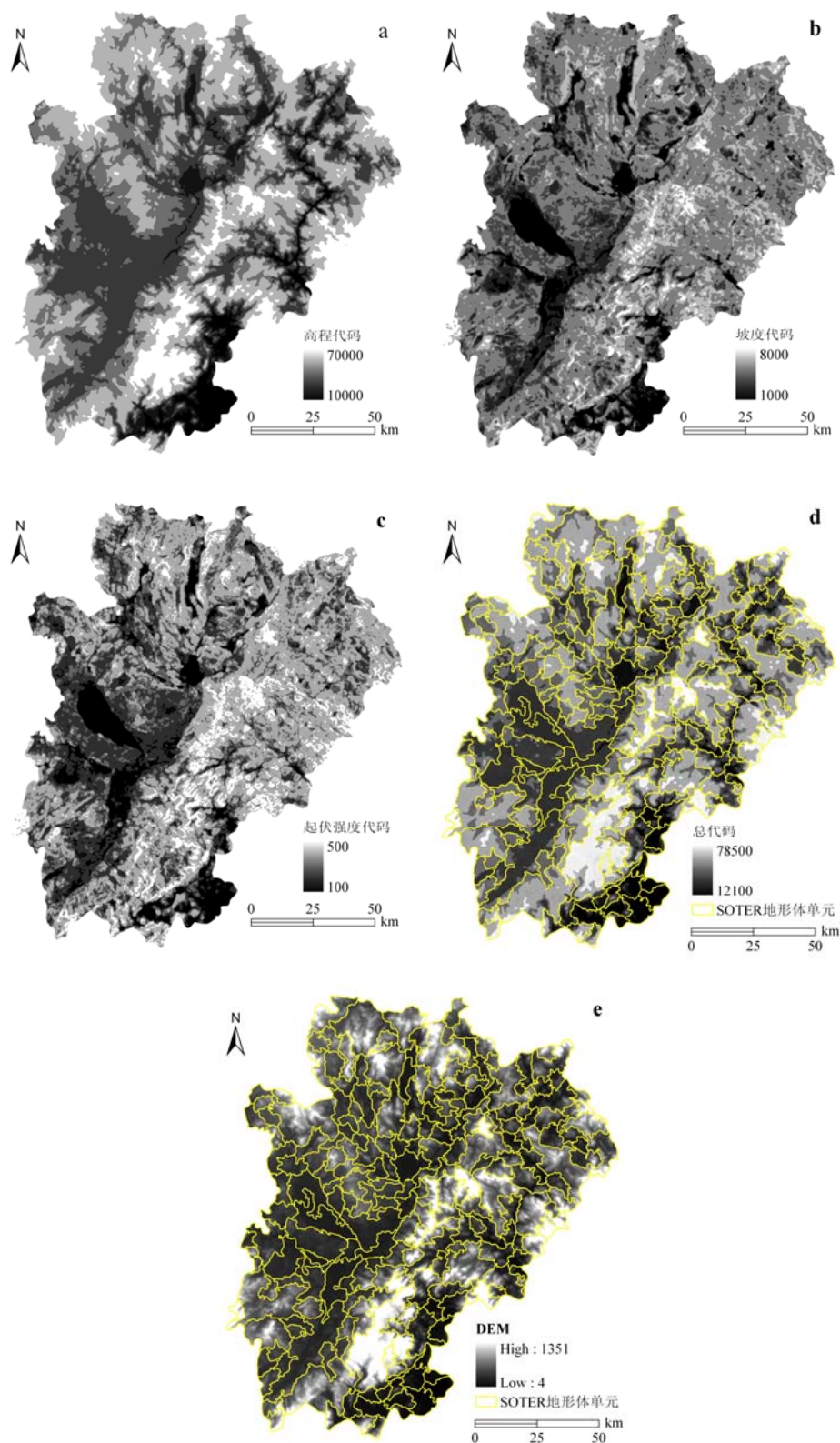
式中，*a*到*i*表示象元[*a*]到[*i*]的高程，*x\_cell\_size*、*y\_cell\_size*分别表示*x*和*y*方向的象元的大小。

在计算出了坡度以后我们再根据 Focalstasts\_MEDIAN, circle 6 cells 进行邻域处理，根据 SOTER

1.3.2 坡度 坡度是最重要的地形差异性指标，坡度图是用 ArcInfo GRID 模块里的 Slope 功能，从 SRTM 数据中提取的，计算的方法是 3×3 窗口法（图 2）。

手册分类标准和量化的需要,我们采用表 1 中的分类标准对邻域处理后的坡度进行分级,并对分级以后

的象元重新进行编码(如坡度为 2.5%,则重新编码为 3000),得到最后的坡度图(图 3a)。



(a 为高程图, b 为坡度图, c 为起伏强度图, d 为 3 个地形因子合并以后的图层, e 为最后的 SOTER 地体单元图)

图 3 基于 SRTM 数据提取的 3 个地形因子及合并以后的图层

Fig. 3 Three landform factors derived from SRTM and the combined layers

**1.3.3 地势起伏强度** 地势起伏强度是在 SOTER 手册中区分地体单元第 2 个重要的因子，地势起伏强度定义为特定距离地形内最高点与最低点的中数差异。应用在 3 个方面：主要地貌等级的划分、高程的描述以及切割程度的描述，并且具有不同的度量单位，分别是 m/km、m/2km 和 m/坡度单元。这些不一致的度量单位为量化地提取地势起伏强度带来了不便，所以本研究对地势起伏强度的度量单位进行统一，单位标识为 m/km<sup>2</sup>，具体表示以 1 km 为直径的搜索范围内最高点与最低点的高差。在利用 SRTM 实际提取地势起伏强度的过程中，由于 SRTM 的精度为 90 m，我们采用 5 个象元为半径进行运算，加上中心象元相当于 11 个象元的直径（直径 = 11 × 90 m ≈ 1 km），采用 ArcInfo GRID 模块里的 Focalstats\_RANGE, circle 5 cells，这种算法为计算 5 个象元为半径的圆内的所有象元的最高和最低值，并将这个值赋值给中心象元，然后再移动窗口进行运算，直到整个象元运算结束。采用表 1 中的分类标准对地势起伏强度进行分类，根据地势起伏强度的大小不同进行重新编码（如地势起伏强度为 80 m/km<sup>2</sup>，则编码为 200），重新分类后的地势起伏强度如图 3b。

**1.3.4 高程** 在 SOTER 手册中对地形的进一步识别是根据高程的不同，我们用 Focalstats\_MEDIAN, circle 6 cells 邻域处理的方法，在上述经过处理的 SRTM 数据基础上提取高程信息，再对提取的高程信息进行分类获得分类后的高程信息图（图 3c），对高程的分类采用表 1 的分级标准，并重新进行编码（如高程为 250 m，则编码为 50000）。

**1.3.5 数据的融合** 在 3 个地形因子获得以后，接下来就是将这 3 个因子（坡度、地势起伏强度和高程）叠加成一个包含这 3 个因子信息的新的图层，叠加后

生成的新的图有麻点（NODATA），用 Focalstats MAJORITY, circle 6 cells 进行邻域处理，获得一个相对均一的 GRID 格式的 SOTER 地体单元图（图 3d）。再将这个 GRID 格式的图转换为多边形，并提取面积 ≥ 25 km<sup>2</sup> 的多边形以备分析使用。

**1.3.6 SOTER 地体单元的形成** 根据 SOTER 手册，在地图上单个 SOTER 单元的最小面积为 0.25 cm<sup>2</sup>，即在 1:100 万比例尺的地图上最小的上图单元的面积为 25 km<sup>2</sup>，所以为了符合这个最小上图单元的要求，我们首先对图（图 3d）进行 ArcInfo 中的 Nibble 处理（图 3d 作为输入图层，提取的面积 ≥ 25 km<sup>2</sup> 的多边形为掩膜图层）。Nibble 处理基本原理是在掩膜图层以外的区域，根据欧几里德距离，将距离最小的邻域里的象元的值赋给相应的象元。将经过 Nibble 处理后的图层转换为多边形，虽然经过上面的 Nibble 处理，但仍然有（特别是在边界处）多边形的面积不符合 ≥ 25 km<sup>2</sup> 的要求。所以，再用 Eliminate 命令消除面积 < 25 km<sup>2</sup> 的多边形，多次重复这个命令，直到多边形的个数不变为止（剩下的小多边形是岛）。将最后的多边形输出为 shape 格式的文件，并进行投影（lambert azimuthal equal area），就完成 SOTER 地体单元空间数据的构建（图 3e）。用这种方法构建的全国 SOTER 地体单元不仅记录了详细的地形信息，而且对于中国复杂的自然地理地区能够从大的地形进行区分。对原 SOTER 手册的主要的地形区分标准进行部分修改后（表 2），我们将全国的主要地形分为：平原（LP）、高原（LL）、盆地（LD）、低坡度坡麓（LF）、中坡度丘陵（SH）、中坡度山地（SM）、切割平原（SP）、陡坡度丘陵（TH）和陡坡度山地（TM）9 种主要地形，它们的面积分布见表 2。

表 2 主要地形的划分

Table 2 Hierarchy of major landforms

一级地形	二级地形	坡度 (%)	起伏强度 (m/km <sup>2</sup> )	面积 (万km <sup>2</sup> )
平地 (L)	平原 (LP)	<10	<50	169.4
	高原 (LL)	<10	<50	165.9
	盆地 (LD)	<10	<50	120.6
	低坡度坡麓 (LF)	<10	<50	53.8
坡度 (S)	中坡度丘陵 (SH)	10~30	100~250	26.5
	中坡度山地 (SM)	10~30	150~300	217.3
	切割平原 (SP)	10~30	50~100	7.1
陡坡地 (T)	陡坡度丘陵 (TH)	>30	150~300	12.2
	陡坡度山地 (TM)	>30	>300	176.2

全国 1:100 万 SOTER 地体单元的属性数据库有两张表,第一个是全国 1:100 万 SOTER 地体空间单元的属性表,有 3 个字段:ID (地体单元ID)、GRIDCODE和LANDF (二级地形)。第二个是地形因子组合信息表,有GRIDCODE、ELEVATION (高程)、SLOPE (坡度)、RELIEF (起伏强度) 4 个字段。这两张表通过 GRIDCODE 进行连接。GRIDCODE 记录了将 3 个地形因子合并以后的信息,如上述高程的代码为 50000,坡度的代码为 3000,起伏强度的代码为 200,则合并以后得代码 (GRIDCODE) 为 53200,也就是相对应了高程为 200~300 m 之间,坡度为 2%~5% 之间,地势起伏强度为 50~100 m/km<sup>2</sup>。所以,根据 GRIDCODE 字段的信息就能够知道地体单元的地形信息。

## 2 结果与讨论

以前的相关研究主要的数据源是地形图和地貌图,地形图和地貌图的数字化不仅费时,而且在数字化的过程中会带来错误和误差,如果要研究一个比较大的区域需要将多个地形图进行接边处理,这样数据的完整性相对而言稍差。本研究由于利用 SRTM 数据作为数据源,基于数据的准确性、连续性和可获得性,在数据的处理过程中由于数据量太大,我们将整个研究区域分成东西两部分,并且东西两部分有重叠部分,以实现数据的无缝接边。使得数据更具有一致性和完整性,研究的结果更准确。

用 3 个地形因子 (高程、坡度和地势起伏强度) 对 SOTER 地体单元进行构建,是因为在 SOTER 手册中这 3 个因子是区别主要地貌类型的重要指标。在本研究中新的分类标准用来对 3 个地形因子进行重新分类。仅从视觉上就可以看出新的分类标准对于地形的识别很理想 (图 3e),对于大的地形边界的识别没有什么影响,而只是小的地形单元发生了些变化,这对于全国 1:100 万尺度的地体单元图来说,几乎没有什么影响。高程是平原地区地形鉴别的唯一因子,所以高程的重新分类更能够说明平原地区地形的变化。在继承 SOTER 手册起伏强度分类标准的基础上,将地势起伏强度单位统一为 m/km<sup>2</sup>,使得量化的构建地形更具有可操作性。按照 SOTER 手册的要求上图单元的面积应该不小于 25 km<sup>2</sup>,所以在 3 个因子实现叠加以后,我们将面积  $\geq 25$  km<sup>2</sup> 的多边形作为掩膜,对叠加以后的栅格图进行 Nibble 处理,经过 Nibble 处理后的图比未处理以前的图更平滑,更具有现实性和一

致性。将 Nibble 处理后的图转换为多边形,其中还有很多的多边形的面积达不到 SOTER 手册的要求 (主要出现在边界处),所以接下来我们用 Eliminate 命令消除面积  $< 25$  km<sup>2</sup> 的多边形。

与传统的 SOTER 地形体主要依据地貌图或者地形图,用手工的方法勾绘出地形单元,再利用数字化的方法输入计算机构建的方法相比,该方法基于新的数据源提出了一个量化自动构建 SOTER 地形体的新的方法。另外,传统的 SOTER 方法只注重于大的地形的划分,而该研究与传统的 SOTER 的关键不同之处在于,不仅从大的地形对全国地形进行了区分,更重要的是详细地记录了每一个地形单元体的地形信息。这样可以满足不同应用要求的需要,对于那些注重大的地形信息的应用研究和那些需要更详细地形信息的应用研究,该地形体都能够为其提供支持,这样就大大地拓宽了 SOTER 的应用范围。该方法在对大的地形进行区分的时候也存在一些不足,不能完全自动实现主要的几个大的地形的划分,如在区分一级地形 (L) 下的所有二级地形的时候,完全根据 3 个地形因子是区分不开的,需要根据周围的地形信息和借助辅助的地形地貌数据才能够区分,这也是该方法需要更深入研究的重要内容。

## 3 结论

作为 SOTER 的基础组成部分的地形体单元的量化的构建是建设 SOTER 需要解决的第一个问题。数字土壤制图技术以及新的数据源的出现,为定量地构建 SOTER 地体单元提供了可能性。本研究表明,量化地构建小比例尺 SOTER 地体单元,利用 90 m 分辨率的 SRTM 作为数据源的结果是令人满意的,可以实现无缝接边,更准确、更快速、更一致。同时,本研究提供了一个量化构建小比例尺地体单元的方法,为小比例尺 SOTER 的建设提供方法论上的支持,对实现农业和环境资源的有效管理具有重要的作用。

### 参考文献:

- [1] Baumgardner MF, Oldeman LR. Proceedings of an international workshop on the structure of a digital international resources map annex database. 20-24 January 1986. Netherlands: Wageningen, 1986
- [2] Mantel S, van-Engelen. The impact of land degradation on food productivity—case studies of Uruguay, Argentina and Kenya.

- Volume1: Main report, 1997
- [3] 张学雷, 张甘霖, 龚子同. SOTER 支持下 ALES 模型对海南省热带作物适宜性评价研究. 地理科学, 2001, 21(4): 344-349
- [4] 赵玉国, 张甘霖, 龚子同. SOTER 支持下海南土壤侵蚀模拟与影响因子分析. 土壤通报, 2003, 34(3): 119-224
- [5] Bai ZG, Dent DL, Schaepman ME. Quantitative global assessment of land degradation and improvement: Pilot study in North China. Report 2005/06, ISRIC - World Soil Information, Netherlands: Wageningen, 2005
- [6] Cerri CC, Bernoux M, Arrouays D, Feigl B, Piccolo MC. Carbon pools in soils of the Brazilian Amazon // Lal R. Global Climate Change and Tropical Ecosystems. Advances in Soil Science. Boca Raton: CRC Press, 2000: 33-50
- [7] Batjes NH, Rawajfih ZR, Al-adamat R. Soil data derived from SOTER for studies of carbon stocks and change in Jordan (Ver.1). GEFSOC Project rep. Report 2003/04, ISRIC-World Soils Information. Netherlands: Wageningen, 2003
- [8] Batjes NH, Gicheru P. Soil data derived from SOTER for studies of carbon stocks and change in Kenya (Ver.1). GEFSOC Project rep. Report 2004/01, ISRIC - World Soil Information. Netherlands: Wageningen, 2004
- [9] Batjes NH, Bhattacharyya T, Mandal C, Dijkshoorn K, Pal DK, Milne E, Gajbhiye KS. Soil data derived from SOTER for studies of carbon stocks and change in the Indo-Gangetic Plains (India) (ver.1.0). Report 2004/06. ISRIC - World Soil Information, Wageningen and NBSS&LUP (ICAR), India
- [10] 陈学华, 何毓蓉, 徐建忠. 四川盆地 SOTER 数据库的建立方法. 土壤通报 (土壤系统分类与 SOTER 专辑), 1999(S1): 39-41
- [11] 张明, 张洪业, 李秀彬, 黄荣金, 冷疏影. 利用已有资料建立京津唐 1:50 万 SOTER 数据库的实践与问题讨论. 土壤通报 (土壤系统分类与 SOTER 专辑), 1999(S1): 32-34
- [12] 张国枢. 1:50 万 SOTER 制图与数据采集—以辽河下游地区为例. 土壤通报 (土壤系统分类与 SOTER 专辑), 1999(S1): 35-38
- [13] 张学雷, 杨玉建, 肖光平. 山东省 1:100 万 SOTER 数据库的建立与初步应用研究. 山东农业大学学报 (自然科学版), 2001, 32(2): 136-142
- [14] 张海涛. 基于 SOTER 和 COMGIS 的区域土壤信息系统的建立及应用 (博士学位论文). 武汉: 华中农业大学, 2003
- [15] 张学雷, 张甘霖, 龚子同. SOTER 数据库支持下的土壤质量综合评价—以海南岛为例. 山地学报, 2001, 19(4): 377-380
- [16] Zhang XL, Chen J, Zhang GL, Tan MZ, Ibáñez JJ. Pedodiversity analysis in Hainan Island. Journal of Geographical Sciences, 2003, 13(2):181-186
- [17] UNEP-ISSS-ISRIC-FAO. Global and national soils and terrain digital database (SOTER): Procedures manual. International Soil Reference and Information Centre. Netherlands: Wageningen, 1995
- [18] Farr TG, Kobrick M. Shuttle radar topography mission produces a wealth of data. EOS Trans. AGU, 2000, 81: 583-585
- [19] Jarvis A, Rubiano J, Nelson A, Farrow A, Mulligan M. Practical use of SRTM data in the tropics: Comparisons with digital elevation models generated from cartographic data. Working Document No. 198. Cali, International Centre for Tropical Agriculture (CIAT), 2004: 32
- [20] Hutchinson M. Calculation of hydrologically sound digital elevation models. Third International Symposium on Spatial Data Handling, Columbus, Ohio, International Geographical Union, 1988
- [21] Hutchinson M. A new procedure for gridding elevation and stream line data with automatic removal of spurious pits. Journal of Hydrology, 1989, 106: 211-232
- [22] Worstell B. Development of soil terrain (SOTER) map units using digital elevation models (DEM) and ancillary digital data (M. Sc. Thesis). Indiana, USA: Purdue University, 2000
- [23] 赵玉国, 张甘霖, 周生路, 张华, 骆永明, 赵其国. 利用 DEM 建立香港土壤地体数据库. 土壤, 2003, 35(2): 160-164
- [24] Dobos E, Montanarella L. The development of a quantitative procedure for soilscape delineation using digital elevation data for Europe. Digital Soil Mapping Workshop. France: Montpellier, 2004
- [25] Dobos E, Daroussin J, Montanarella L. An SRTM-based procedure to delineate SOTER Terrain Units on 1:1 and 1:5 million scales. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2005: EUR 21571 EN, 55

## An SRTM-Based Procedure to Delineate SOTER Terrain Units on 1:1 M Scale of China

WU Yun-jin, ZHAO Yu-guo, ZHANG Gan-lin

*(State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture (Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences), Nanjing 210008, China)*

**Abstract:** SOTER as the combination of soil, landform and lithology contains more information than single soil or landform database. SOTER can provide more robust supports for the solution of the increasing contradictions between human and natural resources. This paper described a procedure to delineate SOTER Terrain Units on 1:1 M scale of China by using new data (SRTM) and new digital soil mapping technology. The results showed that the procedure was suitable to delineate SOTER Terrain Units on 1:1 M scale of China based on SRTM with 90 meter resolution. Compared with the traditional methods, the procedure can realize seamless edge match, get more accurate, consistent and faster results, meanwhile it can provide a quantitative methodology to delineate SOTER Terrain Units on small scales, which is very important to realize the effective management of agriculture and environmental resources.

**Key words:** SOTER, SRTM, Terrain units, Quantitative