

乌江上游森林生态系统水源涵养数据集

唐玉芝^{1,2}, 邵全琴^{1,2*}

1. 中国科学院地理科学与资源研究所陆地表层格局与模拟院重点实验室, 北京 100101

2. 中国科学院大学, 北京 100049

摘要: 森林水源涵养是森林生态系统的重要生态功能, 对于防治洪涝旱灾和水土流失、缓解区域水资源短缺具有重要意义。本文基于综合能力蓄水法和贵州省毕节地区 2010 年森林二类调查小班数据, 计算得到乌江上游地区森林生态系统水源涵养量。基于 DEM、ArcGIS 平台和水文分析的坡位信息提取方法计算得到各森林小班的海拔、坡度、坡向和坡位数据。使用线性回归和相关分析法探讨了森林水源涵养能力与林地海拔之间的关系。结果表明, 2010 年乌江上游森林水源涵养总量达到 5.63 亿 m^3 , 单位面积水源涵养量为 774.73 t/hm^2 。森林水源涵养能力与海拔呈极显著的负相关 ($P < 0.01$), 海拔平均上升 1,000 m, 单位水源涵养量相应减少 90.56 t/hm^2 。该数据集包括: (1) 乌江上游地区地理位置数据; (2) 乌江上游森林生态系统水源涵养量数据, 分为面上的坡位、森林植被类型 (归并后)、各森林水文作用层涵养水量、水源涵养总量和单位面积水源涵养量等计算结果 (.shp 格式), 点上的土层厚度、郁闭度等林地信息数据 (.shp 格式); (3) 乌江上游海拔高度分类数据 (空间分辨率为 30 m)。该数据集以 .shp、.pdf、.tfw、.tif 等 11 种数据格式存储。数据集由 1 个压缩数据文件包组成, 内含 3 个数据文件夹、26 个数据文件, 数据量压缩前 261 MB (压缩后 144 MB)。该数据的分析结果发表在《地球信息科学学报》2016 年第 18 卷第 7 期。

关键词: 乌江; 森林; 生态系统; 水源涵养

DOI: 10.3974/geodp.2018.04.10

1 前言

乌江全长 1,037 km, 其流域位于中国西南喀斯特区的核心部位, 西起云贵高原东部, 东抵湘西山地丘陵^[1], 约 77% 的流域面积位于贵州省境内。乌江上游主要为毕节市, 地处滇黔桂连片喀斯特腹地^[2], 地形破碎, 河谷深切, 土层薄瘠, 生态环境十分脆弱^[3]。自 20 世纪 60 年代毁林开荒以来, 乌江上游森林覆盖率下降剧烈, 森林覆盖率一度由 1957 年的 12.84% 下降到 5.8%, 林草覆盖率从 50 年代的 27.49% 下降到 19.17%^[4]。由此引发了严重的水土流失和土地退化, 旱、洪、泥石流灾害频繁发生^[5]。直至 2000 年, 西南喀斯特地区实施了包括退耕还林工程在内的一系列生态修复工程, 开展生态恢复工作^[3], 水土流失现象才得以遏制。森林作为防治水土流失的主体, 其水源涵养功能在涵蓄土壤水分、

收稿日期: 2018-06-25; 修订日期: 2018-12-09; 出版日期: 2018-12-24

基金项目: 中华人民共和国科学技术部 (2013BAC03B00); 中国科学院 (GHJ-ZLZX-2018-14)

*通讯作者: 邵全琴 E-7614-2018, 中国科学院地理科学与资源研究所, shaoqq@igsnrr.ac.cn

数据引用方式: [1] 唐玉芝, 邵全琴. 乌江上游森林生态系统水源涵养数据集[J]. 全球变化数据学报, 2018, 2(4): 433-441. DOI: 10.3974/geodp.2018.04.10.

[2] 唐玉芝, 邵全琴. 乌江上游地区森林生态系统水源涵养及其空间分布数据集[DB/OL]. 全球变化科学研究数据出版系统, 2018. DOI: 10.3974/geodb.2018.01.06.V1.

缓和地表径流和补充地下水等方面作用突出^[6-7]，有助于防洪抗旱、固土保肥和缓解区域水资源短缺。作为西南地区重要水源地之一，乌江上游森林生态系统水源涵养功能对当地乃至长江中下游地区意义重大。

本文基于贵州省毕节地区 2010 年森林二类调查小班数据，根据综合蓄水能力法，估算得到乌江上游地区森林生态系统水源涵养及其空间分布数据集^[8]。数据集中还包括坡度、坡位、海拔、林龄等林地信息，本文对森林水源涵养能力与立地条件之一——海拔之间的关系进行了探讨。

2 数据集元数据简介

乌江上游地区森林生态系统水源涵养及其空间分布数据集^[8]的名称、作者、地理区域、数据年代、空间分辨率、数据集组成、数据出版与共享服务平台、数据共享政策等信息见表 1。

表 1 乌江上游地区森林生态系统水源涵养及其空间分布数据集元数据简表

条 目	描 述
数据集名称	乌江上游地区森林生态系统水源涵养及其空间分布数据集
数据集短名	WaterConsvUpWujiang
作者信息	唐玉芝 E-6912-2018, 中国科学院地理科学与资源研究所, tangyz.14b@igsnr.ac.cn 邵全琴 E-7614-2018, 中国科学院地理科学与资源研究所, shaoqq@igsnr.ac.cn
地理区域	贵州省毕节地区的东部至中部 (26°21'N-27°35'N, 104°15'E-106°43'E)
数据年代	2010
空间分辨率	30 m
数据格式	.dbf、.prj、.sbn、.sbx、.shp、.xml、.shx、.pdf、.tfw、.tif
数据量	261 MB (压缩后 144 MB)
数据集组成	数据集由 1 个压缩数据文件包组成, 内含 3 个数据文件夹、11 种数据格式、26 个数据文件, 3 个文件夹内容分别为: 1_StudyArea: 乌江上游地区地理位置数据(边界), 由 7 个数据文件组成; 数据量 464 KB 2_WaterConservation: 乌江上游森林生态系统水源涵养量数据, 由 15 个数据文件组成; 数据量 258 MB 3_ElevationClusters: 乌江上游海拔高度分类数据, 由 4 个数据文件组成, 数据量 3.23 MB
基金项目	中华人民共和国科学技术部 (2013BAC03B00); 中国科学院 (GHJ-ZLZX-2018-14)
出版与共享服务平台	全球变化科学研究数据出版系统 http://www.geodoi.ac.cn
地址	北京市朝阳区大屯路甲 11 号 100101, 中国科学院地理科学与资源研究所
数据共享政策	全球变化科学研究数据出版系统的“数据”包括元数据(中英文)、实体数据(中英文)和通过《全球变化数据学报》(中英文)发表的数据论文。其共享政策如下: (1)“数据”以最便利的方式通过互联网系统免费向全社会开放, 用户免费浏览、免费下载; (2) 最终用户使用“数据”需要按照引用格式在参考文献或适当的位置标注数据来源; (3) 增值服务用户或以任何形式散发和传播(包括通过计算机服务器)“数据”的用户需要与《全球变化数据学报》(中英文)编辑部签署书面协议, 获得许可; (4) 摘取“数据”中的部分记录创作新数据的作者需要遵循 10% 引用原则, 即从本数据集中摘取的数据记录少于新数据集总记录量的 10%, 同时需要对摘取的数据记录标注数据来源 ^[9]

3 数据研发方法

3.1 基础数据汇集

基础参考数据汇集了贵州省市界和全国二级水资源区图, 来源于贵州省当地政府和前期研究积累数据。森林植被数据来源于贵州省毕节市 2010 年森林二类调查小班矢量数据, 包括样地坐标、面积、优势树种、土层厚度和土地退化类型等丰富的林地信息。数字高程数据使用美国 ASTER GDEM V2^[10], 空间分辨率为 30 m。

3.2 数据研发算法

3.2.1 森林生态系统水源涵养功能估算方法

根据该区的实际情况和特殊地理位置以及现有资料数据, 本文采用综合蓄水能力法对乌江流域森林生态系统的水源涵养功能进行估算。综合蓄水能力法综合考虑了林冠层截留降雨量 (Canopy Interception)、枯枝落叶层持水量 (Litter Containment) 和土壤层贮水量 (Soil Storage) 三个层次^[11], 其中林冠层截留降雨量可以通过截留率与降水量计算, 枯枝落叶层持水量通过凋落物存量与最大 (或有效) 持水能力计算, 土壤层贮水量通过土壤非毛管孔隙度和土壤厚度计算。

综合蓄水能力法的计算公式为:

$$Q = CI + LC + SS \quad (1)$$

式中, Q 为森林涵养水量 (m^3), CI 为林冠层截留降雨量 (m^3), LC 为枯枝落叶层持水量 (m^3), SS 为土壤层贮水量 (m^3)。

(1) 林冠层截留降雨量 (CI)

林冠对降水的截留是森林植物对降水的最初分配, 其截留量除与冠层自身的结构、林分郁闭度、叶形等有关外, 降雨量、降雨强度和风等都是其重要的影响因子^[12]。林冠层截留降雨量的计算公式为:

$$CI = \sum_{i=1}^n R \cdot \alpha_i \cdot A_i / 10 \quad (2)$$

式中, R 表示单次最大降水量 (mm), α_i 表示第 i 类森林类型的林冠截留率 ($\%$), A_i 表示第 i 类森林类型的面积 (hm^2)。

(2) 枯枝落叶层持水量 (LC)

枯枝落叶层是对降水拦蓄的第二作用层, 是评价森林生态系统涵养水源功能的重要因素, 其大小取决于其结构、分解状况、枯枝落叶积累量以及枯枝落叶的持水能力。枯枝落叶层持水量的计算公式为:

$$LC = \sum_{i=1}^n \beta_i \cdot A_i \quad (3)$$

式中, β_i 表示第 i 类森林类型的枯枝落叶层最大持水量 (t/hm^2), A_i 表示第 i 类森林类型的面积 (hm^2)。

(3) 土壤层贮水量 (SS)

林地土壤的持水性能是评价森林生态系统涵养水源能力最主要的指标之一, 土壤入渗速度的快慢、土壤的孔隙状况以及土层厚度是决定森林土壤水源涵养能力的重要因素。土壤层贮水量的计算公式为:

$$SS = \sum_{i=1}^n \gamma_i \cdot h_i \cdot A_i \quad (4)$$

式中, γ_i 表示第 i 类森林类型的土壤非毛管孔隙度 (%), h_i 表示第 i 类森林类型的土层厚度 (cm), A_i 表示第 i 类森林类型的面积 (hm^2)。

3.2.2 坡位生成方法

采用基于水文分析的坡位信息提取方法^[13]生成乌江上游地区各森林小班的坡位数据。利用 DEM 和 ArcGIS 10.4 平台工具生成水流网络和小流域单元, 根据水流路径和提取山脊线和山谷线, 根据小流域单元提取汇水区并区分出坡位单元, 再根据主水流路径对坡位单元进行坡位划分, 具体方法详见文献^[13]。坡位划分原则是根据《国家森林资源连续清查技术规定》^[14], 分为脊部、上坡、中坡、下坡、山谷和平地, 其中脊部是山脉的分水线及其两侧各下降垂直高度 15 m 的范围; 上坡、中坡和下坡分别是脊部以下至山谷范围内的山坡三等分后的上、中、下部位; 山谷是汇水线两侧的谷地 (若样地处于其它部位中出现的局部山洼, 也应按山谷记载); 平地则是处在平原和台地上的样地。

3.2.3 统计分析方法

为了研究森林生态系统水源涵养能力与海拔这一立地条件之间是否存在相关关系以及相关关系的密切程度, 运用线性回归法对森林水源涵养能力与海拔进行线性拟合, 建立线性方程, 并进行相关关系统计和显著性检验, 通过相关系数 R 和显著性水平 P 值进行判断, 具体计算方法参见文献^[15]。

3.3 数据研发技术路线

本研究技术路线如图 1 所示。通过由全国二级水资源区图提取的乌江流域边界对贵州省毕节市 2010 年森林二类调查小班数据进行裁切, 得到乌江上游地区森林植被数据。由于研究区森林植被类型繁多, 优势树种多达 60 种以上, 需要对其进行分类处理。本研究按照《中国植被》分类系统, 同时结合《国家森林资源连续清查技术规定》, 根据各优势树种的数量和分布面积, 考虑各树种的生物学和生态学特性, 将相似的植物群系合并, 最终归并为九大类森林植被类型^[9], 分别为温性针叶林、暖性针叶林、暖性针阔混交林、落叶阔叶林、常绿落叶阔叶混交林、常绿阔叶林、暖性竹林、经济林和灌丛。单次最大降水量来源于研究区邻近的气象台站。根据地理环境、气候条件、植被类型和立地条件等, 使用 Meta 分析从相关文献资料获取研究区各类森林植被的林冠层截留率、枯落物层单位最大持水量和土壤非毛管孔隙度。基于 ArcGIS 10.4 软件工具, 利用研究区 DEM 提取了林地海拔、坡度、坡向和坡位等立地条件数据; 利用森林小班数据提取了土层厚度、龄组、郁闭度等林地信息数据。并就森林水源涵养与海拔的关系进行了空间差异探究。

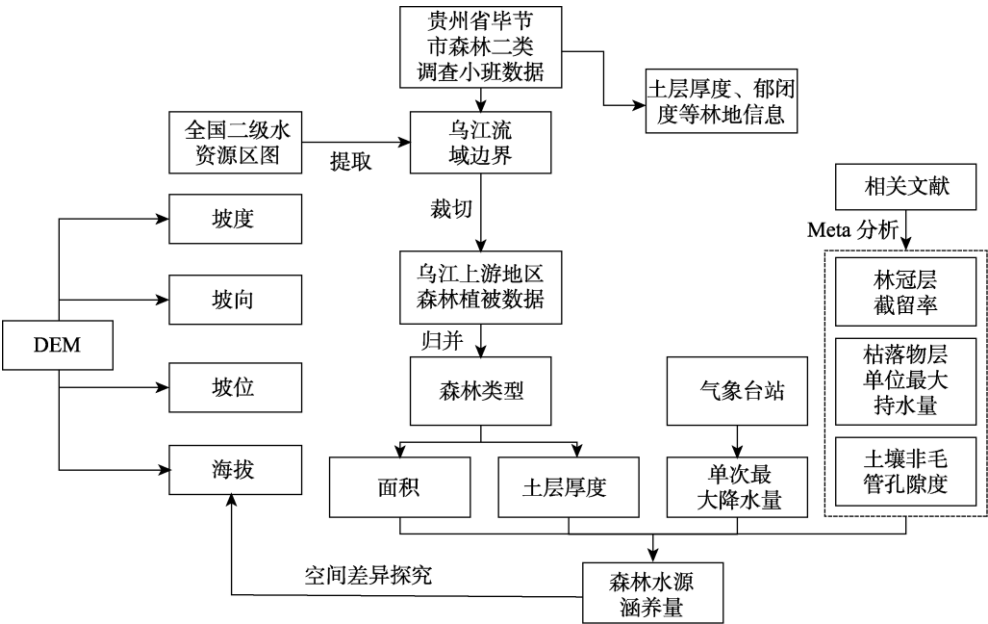


图 1 森林生态系统水源涵养功能估算技术路线图

4 数据结果

4.1 数据文件

数据集由三个数据文件组成：

(1) 乌江上游地区地理位置数据（边界）

经纬度介于北纬 26°21′-27°35′、东经 104°15′-106°43′之间，面积为 $1.779 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，约占整个乌江流域面积的 20.23%，境内流经六冲河、三岔河、落脚河、耳海河、鸭池河、偏岩河等六条乌江支流（图 2）。

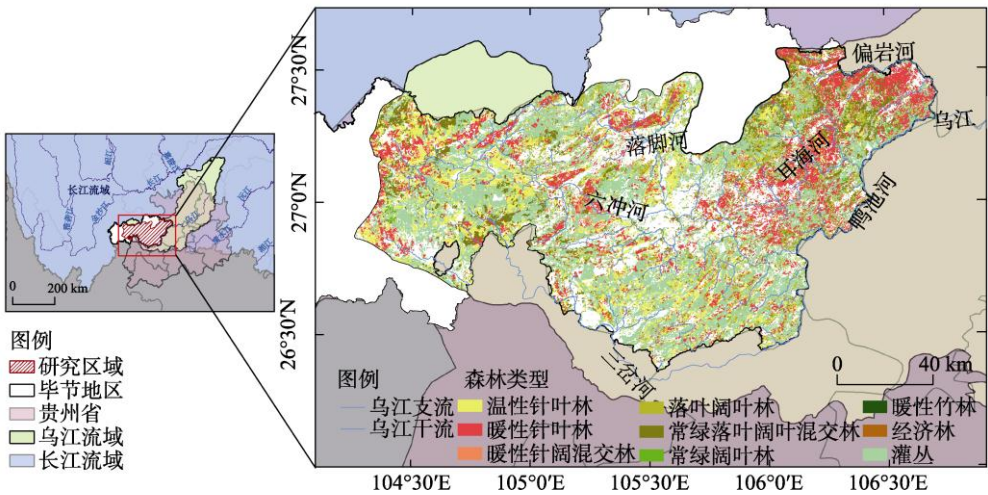


图 2 乌江上游地理位置及森林类型空间分布

(2) 乌江上游森林生态系统水源涵养量数据

该数据格式为.shp 文件, 包括面上的坡度、坡向、坡位等立地条件和森林植被类型(归并后)、各森林水文作用层涵养水量、水源涵养总量和单位面积水源涵养量等计算结果(SHP polygon), 以及点上的土层厚度、龄组、郁闭度、平均胸径、活立木蓄积量和土地退化类型等林地信息(SHP point)。

(3) 乌江上游海拔高度分类数据

为研究需要, 将乌江上游林地海拔划分成 22 个高程类, 其中海拔 800 m 以下、2,800 m 以上分别作为 2 个高程类, 800–2,800 m 之间每 100 m 划为一个高程类。各类型面积统计和空间分布如表 2 和图 3。

表 2 乌江上游高程类面积统计表

高程类 (m)	面积 (km ²)	高程类 (m)	面积 (km ²)	高程类 (m)	面积 (km ²)	高程类 (m)	面积 (km ²)
<800	54.53	1,300–1,400	1,757.92	1,900–2,000	1,132.36	2,500–2,600	57.43
800–900	272.79	1,400–1,500	2,099.73	2,000–2,100	883.07	2,600–2,700	28.77
900–1,000	497.51	1,500–1,600	2,007.11	2,100–2,200	610.24	2,700–2,800	6.66
1,000–1,100	466.26	1,600–1,700	1,797.33	2,200–2,300	471.28	>2,800	0.61
1,100–1,200	854.66	1,700–1,800	1,508.36	2,300–2,400	323.64		
1,200–1,300	1,554.57	1,800–1,900	1,273.84	2,400–2,500	130.35		

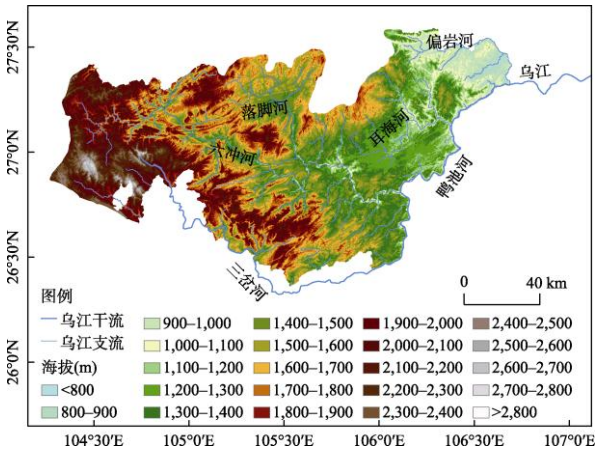


图 3 乌江上游海拔高度类型空间分布数据图^[16]

4.2 数据结果

2010 年, 毕节地区乌江上游森林生态系统的水源涵养总量为 $563.05 \times 10^6 \text{ m}^3$, 森林面积 $726.77 \times 10^3 \text{ hm}^2$, 单位面积水源涵养量达 774.73 t/hm^2 。从空间分布上看, 研究区的水源涵养量表现为由西南和东北向中间逐渐递减趋势(图 4a); 以单位面积水源涵养量表征水源涵养能力强弱, 则研究区的水源涵养能力总体分布趋势并不明显, 其东部表现为由东北向西南逐渐递弱, 而西部则表现为强弱相间的碎片化分布(图 4b)。从森林类型上看, 研究区不同森林类型的水源涵养量大小依次为: 灌丛(38.98%)>温性针叶林(21.05%)>暖性针叶林(18.13%)>常绿落叶阔叶混交林(10.73%)>落叶阔叶林(8.61%)>暖性针阔混交林(1.50%)>常绿阔叶林(0.51%)>经济林(0.46%)>暖性竹林(0.03%), 各类森林类型的水源涵养能力从大到小依次为: 常绿落叶阔叶混交林>暖性竹林>暖性针阔混交林>温性

针叶林>经济林>暖性针叶林>落叶阔叶林>灌丛>常绿阔叶林，针叶林水源涵养能力总体高于阔叶林（表 3）。

随着海拔的升高，单位面积水源涵养量表现出极显著的下降趋势（ $P<0.01$ ），海拔平均上升 1,000 m，单位面积水源涵养量相应减少 90.56 t/hm²左右（表 4）；水源涵养能力在海拔 1,000 m 以下、1,300–2,100 m 的林地表现出明显的上升趋势，而在海拔 1,000–1,300 m、2,100 m 以上的林地表现出明显的下降趋势，这和森林类型面积分布比例随海拔变化的分异特征基本一致（表 4）。

在森林水源涵养能力与海拔关系方面，张堡宸等^[17]基于遥感数据，得出吉林市柳河县森林水源涵养能力随海拔增加先升后降的结论，这似乎与本研究得出的森林水源涵养能力随海拔增加而下降的结论不一致，但值得注意的是，张堡宸等研究区域的海拔范围为 303–1,257 m，其森林水源涵养量在海拔 750 m 以下时随海拔的升高而增加，在海拔 750–850 m 之间时达到最高，在海拔超过此范围之后森林水源涵养量则随海拔的增加而减小，而本研究区域的海拔范围为 700–2,900 m，恰好是张堡宸等研究区域中森林水源涵养量开始递减的海拔范围，从而从侧面验证了本研究的结论。

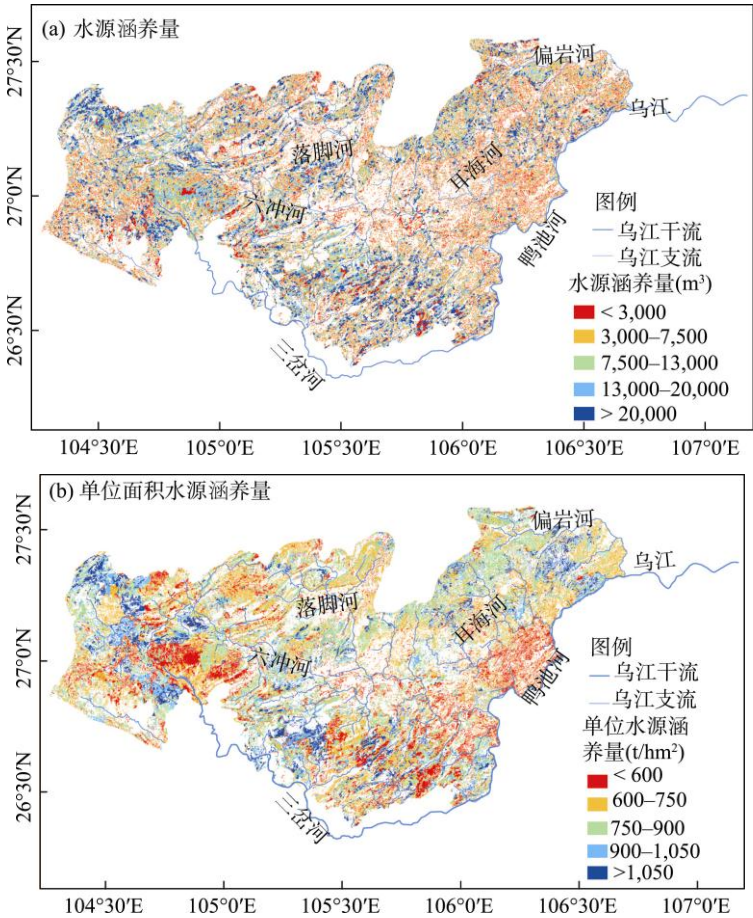


图 4 乌江上游森林水源涵养量和单位面积水源涵养量的空间分布数据图^[16]

5 讨论和总结

乌江上游森林生态系统的水源涵养总量为 $563.05 \times 10^6 \text{ m}^3$ (2010年), 单位面积水源涵养量达 774.73 t/hm^2 。随着林地海拔的升高, 森林单位面积水源涵养量表现出极显著的下降趋势 ($P < 0.01$), 平均海拔上升 1,000 m, 单位水源涵养量相应减少 90.56 t/hm^2 。本数据集是根据《中国植被》分类系统将研究区植被归并为九个植被亚型(群系组), 并采用通过平均处理后的土壤厚度(A+B)作为各森林类型的土壤厚度以计算土壤层贮水量完成的。通过相关文献收集研究区内植被类型的林冠层截留率、枯枝落叶层单位最大持水量和土壤非毛细孔隙度等蓄水参数, 可能出现部分参数与当地实际情况有些偏差的现象。此外, 作为本数据集的水源涵养量估算方法, 综合蓄水能力法虽然较为全面, 但因为忽略了森林蒸散发消耗和在较大降雨事件中产生的快速地表径流等因素的影响^[11], 导致结果可能偏大。故计算结果实际上反映的是理论上最大的蓄水量, 与实际状态下森林的水源涵养量可能不十分吻合。

作者分工: 邵全琴、唐玉芝对数据集的开发做了总体设计; 唐玉芝采集和处理了研究区边界、研究区森林生态系统水源涵养量数据集和研究区高程分类数据集数据, 设计了模型和算法, 完成了数据验证并完成了数据论文的撰写。

参考文献

- [1] 王秀春, 黄秋昊, 蔡运龙. 贵州省乌江流域植被覆盖动态变化分析[J]. 水土保持研究, 2008, 15(5): 15-17.
- [2] 周应书, 何兴辉, 谢永贵等. 毕节喀斯特山地植被恢复立地类型划分[J]. 林业科学, 2008, 44(12): 123-128.
- [3] 李昊, 蔡运龙, 陈睿山等. 基于植被遥感的西南喀斯特退耕还林工程效果评价——以贵州省毕节地区为例[J]. 生态学报, 2011, 31(12): 3255-3264.
- [4] 禄文斌. 毕节地区的水土流失及其防治对策[J]. 中国水土保持, 1992, 128(11): 8-11.
- [5] 苟兴林. 加速营建乌江上游防护林体系工程之浅见[J]. 贵州林业科技, 1988(3): 87-89.
- [6] 石培礼, 吴波, 程根伟等. 长江上游地区主要森林植被类型蓄水能力的初步研究[J]. 自然资源学报, 2004, 19(3): 351-360.
- [7] 邓坤枚, 石培礼, 谢高地. 长江上游森林生态系统水源涵养量与价值的研究[J]. 资源科学, 2002, 24(6): 68-73.
- [8] 唐玉芝, 邵全琴. 乌江上游地区森林生态系统水源涵养及其空间分布数据集[DB/OL]. 全球变化科学研究数据出版系统, 2018. DOI: 10.3974/geodb.2018.01.06.V1.
- [9] 全球变化科学研究数据出版系统. 全球变化科学研究数据共享政策[OL]. DOI: 10.3974/dp.policy.2014.05 (2017年更新).
- [10] 美国国家航空航天局. ASTER GDEM [OL]. <http://www.jspacesystems.or.jp/ersdac/GDEM/E/1.html>.
- [11] 张彪, 李文华, 谢高地等. 森林生态系统的水源涵养功能及其计量方法[J]. 生态学杂志, 2009, 28(3): 529-534.
- [12] 张立恭. 岷江上游水源涵养林涵水能力综合评价[J]. 四川林勘设计, 1997(4): 27-31.
- [13] 刘鹏举, 夏智武, 唐小明. 基于DEM和坡面特征的坡位生成方法[J]. 北京林业大学学报, 2016, 38(2): 68-73.
- [14] 国家林业局. 国家森林资源连续清查技术规定[Z]. 2004.
- [15] Qian, S. Environmental and Ecological Statistics with R [M]. Boca Raton: CRC Press, 2010.
- [16] 唐玉芝, 邵全琴. 乌江上游地区森林生态系统水源涵养功能评估及其空间差异探究[J]. 地球信息科学学报, 2016, 18(7): 987-999.
- [17] 张堡宸, 胡建荣, 李新军等. 基于遥感数据的森林水源涵养估测研究[J]. 中国农学通报, 2014, 30(1): 98-102.