

申豪勇,梁永平,程洋,等. 龙子祠泉域不同下垫面陆面蒸散量的对比研究[J]. 中国岩溶, 2017, 36(2): 234-241.
DOI: 10. 11932/karst20170211

龙子祠泉域不同下垫面陆面蒸散量的对比研究

申豪勇,梁永平,程洋,黄春玲

(中国地质科学院岩溶地质研究所/国土资源部、广西岩溶动力学重点实验室,广西 桂林 541004)

摘 要:龙子祠泉域是北方著名的岩溶大泉,目前泉流量衰减严重,评估泉域内涵养水源林工程对岩溶水增补效果成为一项重要研究课题。本文利用 NOAA/AVHRR 遥感数据,运用地表能量平衡系统(SEBS)模型并结合临汾气象站的实际观测数据(气温、气压、相对湿度和风速),反演了龙子祠泉域 2014 年 4—10 月的日均蒸散量和月均蒸散量,通过 GIS 的空间叠加对比分析了不同岩性和不同植被覆盖率条件下的陆面蒸散量特征。结果表明:碳酸盐岩地区陆面蒸散量与植被覆盖率之间呈正相关关系,而碎屑岩地区中等植被覆盖率的陆面蒸散量最低,在整体上碎屑岩地区的陆面蒸散量要高于碳酸盐岩地区。仅从陆面蒸散量的角度考虑,在碎屑岩地区保持中等的植被覆盖率将有利于增加岩溶水的入渗补给量,而在碳酸盐岩地区开展植树造林将提高陆面蒸散量,不利于降水入渗补给。

关键词:地表能量平衡;蒸散量;下垫面;岩溶水补给;龙子祠泉

中图分类号: P641.1; S161.4

文献标识码: A

文章编号: 1001-4810(2017)02-0234-08

0 引 言

中国北方岩溶水以其集中程度高、动态稳定和水质良好的自然属性,在城市供水和能源基地建设中发挥着不可替代的支撑作用。近 30 年来,受气候变化和人类活动的影响,北方岩溶地下水的环境问题凸显,并带来了一系列的负面效应。据统计^[1],北方岩溶大泉中有 1/3 断流或接近断流,80% 以上的泉水流量大幅度衰减,区域岩溶地下水位普遍以每年 1~2 m 的幅度持续下降,且总体的发展势头不减,这对当地的供水安全、工农业生产保障乃至社会稳定都构成了严重的威胁。碳酸盐岩裸露区的降水入渗和地表水渗漏是北方岩溶水最主要的两种补给来源^[2],因而为了缓解泉水流量的衰减趋势,很多地方政府和专家学者^[3]提出在泉域内通过植树造林来涵养水源,以增加对岩溶地下水的补给。

但是,森林的水文效应是一个复杂的过程,一方面植被可以拦蓄地表径流、消洪补枯、涵养水源,另一方面植被被叶面截留的雨水蒸发及其本身生长所发生的蒸腾作用又会消耗大量的水分。目前,针对森林植被对水文循环的影响还存在不少争端和分歧,主要集中在两方面:一是森林覆盖率的提高是增加还是减少年径流量^[4-7]? 二是植被覆盖率与区域蒸散发之间是否呈正相关的关系^[8-9]? 同时,在岩溶地区,植被常常是涵养水分、增加含水层的贮水能力、改善水文生态环境的重要因素,但在一些地区又利用其强烈的蒸腾作用,而被用于降低地下水位、防治土壤盐渍化^[10]。因此,在泉域内大量植树造林是否能增加降水入渗补给量还需要开展进一步的研究。本文仅从区域蒸散发的角度,以龙子祠泉域作为典型岩溶水系统,对比分析泉域内碎屑岩区和碳酸盐岩区不同植被

基金项目:中国地质科学院岩溶地质研究所基本科研业务费项目(2014016);中国地质调查项目(121201237000160020);“龙子祠泉域岩溶水环境问题成因调查及泉水增补措施研究”项目(2002371320015)

第一作者简介:申豪勇(1988—),男,研究实习员,主要从事岩溶水文地质研究。E-mail:shenhaoyong@karst.ac.cn.

通信作者:梁永平(1962—),男,研究员、硕士生导师,主要从事北方岩溶水文地质研究。E-mail:lyp0261@karst.ac.cn.

收稿日期:2016-06-21

覆盖率条件下的陆面蒸散量,以期为进一步研究植被的水文效应及植树造林对降水入渗补给量的影响提供科学依据。

1 研究区概况

龙子祠泉是山西省 19 个岩溶大泉之一,出露于吕梁山南段东麓临汾盆地西缘,泉域面积约为 2 250 km²,泉水多年(1955—2013 年)平均流量为 4.81 m³/s,泉水流量大和动态稳定的特性使其成为临汾市城市生活和工农业生产的主要供水水源^[3,11]。龙子祠泉域地处温带大陆性季风气候区,属于黄河流域,泉域内多年平均降水量为 544.17 mm,年内降水主要集中在 7—9 月,可占年降水总量的 53.5%,多年平均水面蒸发量约为 1 800 mm。

泉域岩溶地下水接受两种来源补给,其一是泉域内碳酸盐岩裸露区降水入渗补给,占泉域补给资源量的 52.7%;其二是泉域内石炭—二叠煤系地层地表产流通过下游碳酸盐岩河段的渗漏补给,约占补给资源量的 47.3%。泉域内岩溶水从北、西、南向东侧中部汇流,在临汾盆地西缘山前断裂带出流成泉,同时还有少部分以潜流形式越过断层补给山前松散层含水层(图 1)。

泉域地质结构受控于龙子祠向斜山等构造,泉域内近 20 条河谷均呈现出上游石炭—三叠碎屑岩、下游为寒武—奥陶系碳酸盐岩的结构特征,总的碳酸盐岩渗漏段长度达到 240 km 以上,根据实测计算,有 60.5%的碎屑岩区产流量渗漏补给了岩溶地下水。近年来,由于气候变化和人类活动强度的加大,龙子祠泉水流量呈衰减的状态,泉域内的岩溶地下水位也呈趋势性下降的态势。据统计,1955—2013 年泉水流量系列中,以 1983 年为界,前期(1955—1983 年)多年平均流量为 5.62 m³/s,后期(1984—2013 年)为 4.03 m³/s,减少量占到多年平均流量的 33%。

2 研究方法

2.1 陆面蒸散量的计算

在地表,任意时刻的地表能量平衡可表示为:

$$R_n = G_0 + H + \lambda E$$

式中: R_n 为净辐射通量; G_0 为土壤热通量; H 为湍流感热通量; λE 为湍流潜热通量(λ 为汽化潜热, E 为

实际水分蒸发蒸腾总量)。

从上式可以看出,得到净辐射通量、土壤热通量和湍流感热通量后即可推算出湍流潜热通量,进而得到蒸发量。基于此原理,荷兰科学家 Z. Bob. Su 开发了地表能量平衡系统模型(Surface Energy Balance System, SEBS)^[12-13],该模型利用遥感卫星对地观测的可见光、近红外和热红外波段资料,结合气象站的实测数据来估算地表蒸散发。SEBS 模型中日蒸散发计算公式如下:

$$E_d = 8.64 \times 10^7 \times \Delta \times \frac{R_n - G_0}{\lambda \rho_w}$$

式中: E_d 为地表实际日蒸发量(mm·d⁻¹); Δ 为日蒸发比; R_n 、 G_0 分别为日净辐射通量和日土壤热通量; λ 为汽化潜热(J·kg⁻¹); ρ_w 为水的密度(1 000 kg·m⁻³)。

2.2 数据来源

本次研究采用的遥感数据是 NOAA/AVHRR 数据,该数据是地球遥感资料的主要来源之一,具有时间分辨率高的特点,其空间分辨率为 1.1 km,能满足计算的精度要求。考虑到植被的生长时段,遥感数据的选择时间为 2014 年 4—10 月,从美国国家海洋气象局网站下载了 2014 年 4—10 月的共 150 余景 NOAA/AVHRR 的遥感数据,经过预处理后,每个月选取了一景无云覆盖、无坏区的数据作为代表(表 1),用于计算当日的地表蒸散量。

SEBS 模型中使用到的相关地形数据,包括地表高程、坡向和坡度,其中坡向和坡度可由地表高程数据通过数字地形分析得到。为了与遥感数据的空间分辨率保持一致,研究使用的地形数据为 GTOPO30 DEM 数据。

SEBS 模型中气象站资料采用的是临汾气象站的逐日气象资料,包括气温、气压、相对湿度及风速,时间与选取的遥感数据对应(表 1)。

相比传统的气象方法,利用遥感数据和实际观测的水文气象数据相结合的方法来估算陆面蒸散量具有更高的精度,尤其是在区域尺度上^[9,14],国内外很多学者都利用该方法进行了区域尺度上陆面蒸散发量的估算^[15-17]。同时,在遥感估算蒸散量的可靠性验证方面,陈云浩^[18]、吴炳方^[19]和金晓媚^[20]等分别采用实测资料验算、气象站水面蒸发量验证和水均衡的方法,从小范围的尺度和区域尺度上都验证了利用遥感数据估算蒸散量的可靠性。

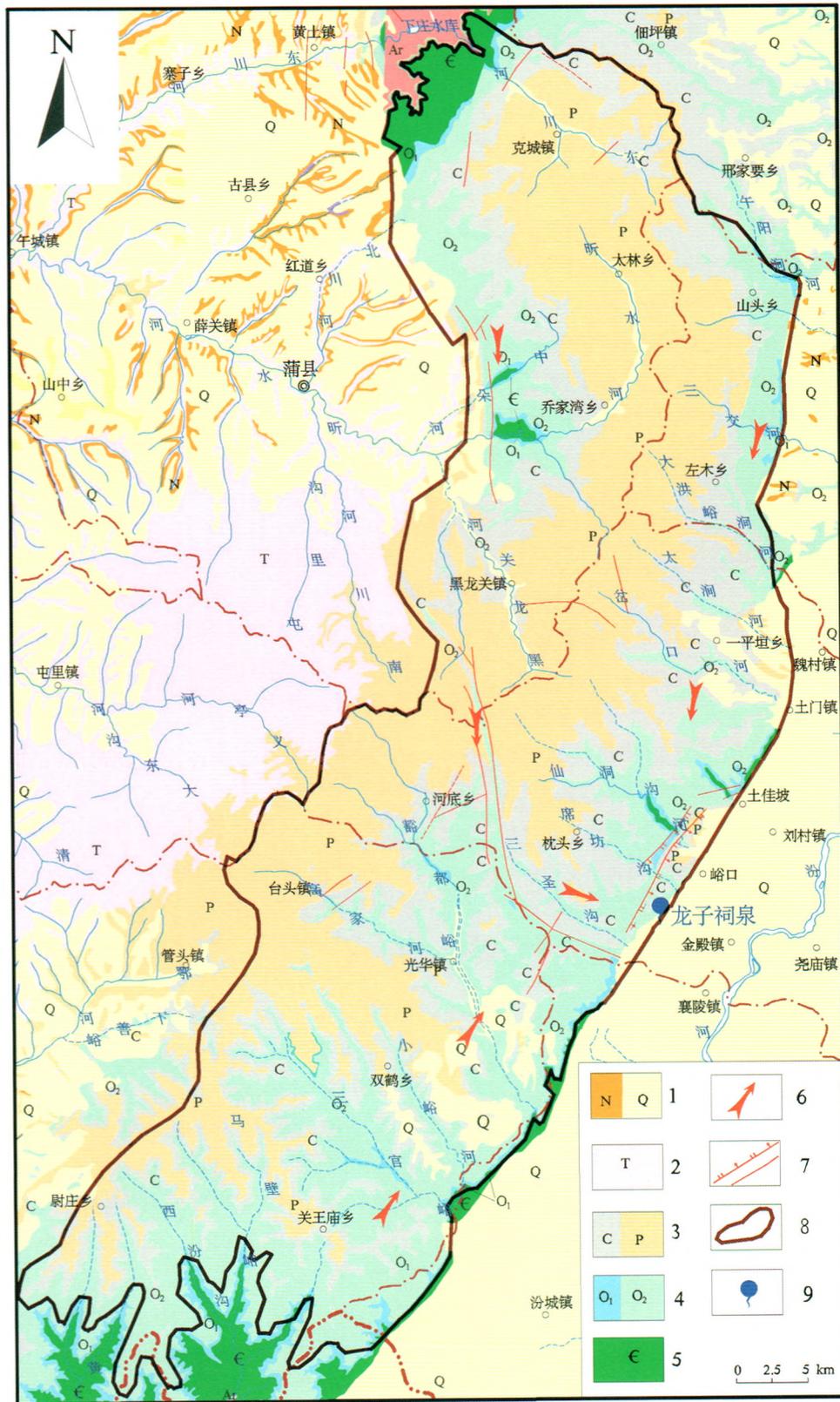


图1 龙子祠泉域水文地质略图

Fig.1 Hydrogeological sketch map of the Longzici spring drainage

1—第四系、新近系 2—三叠系 3—石炭系、二叠系 4—奥陶系 5—寒武系 6—岩溶地下水流向 7—断层 8—泉域边界 9—岩溶泉

表1 选取的 NOAA/AVHRR 遥感数据及当日气象资料

Table 1 Selected NOAA/AVHRR remote sensing and meteorological data

月份	遥感数据日期	气压/ hpa	气温/ ℃	相对湿度/ %	风速/ m·s ⁻¹
4	2014-04-07	962	15	42	0.9
5	2014-05-12	956.3	18.8	60	1.1
6	2014-06-06	954.4	24.9	50	1.7
7	2014-07-25	955.1	27.8	46	1.8
8	2014-08-04	950.9	31	56	1.2
9	2014-09-06	958.2	24.1	60	1.5
10	2014-10-25	961.9	15.2	78	1.1

3 结果与分析

3.1 蒸散量的计算

利用 SEBS 程序计算出各个像元的日蒸散量,取计算区域内所有像元蒸散量的平均值作为龙子祠泉域的日蒸散量。由于卫星过境时间、云层覆盖等因素,研究期内每个月只选取了一天的有效卫星数据来计算当日的日蒸散量,为了得到月蒸散量,首先假设不同下垫面的遥感蒸散量计算值与气象站的蒸发量观测数据是成比例的,然后采用气象站的逐日观测数据结合计算值来推求研究区的月蒸散量。以4月为例,利用 SEBS 程序计算得到4月7日的蒸散量为 1.79 mm,气象站观测的蒸发量为 3.10 mm,根据下式转化得到4月其他日期 SEBS 计算的蒸散量值,然后累加得到4月的月蒸散量。

$$E_s = \frac{1.79}{3.10} \times E_q$$

式中: i 为日期; E_s 为转化的第*i*日遥感计算的蒸散量; E_q 为气象站实测的蒸发量。

根据上述方法计算得到泉域内2014年4—10月的月蒸散量(表2)。从表中可以看出,研究期内区域的月蒸散均值为99.21 mm,月蒸散的动态变化整体上和植被的生长发育相一致,月蒸散的最高值为197.26 mm,出现在6月份,最低值为40.49 mm,出现在4月份。但在7月份出现低值,这可能与植物的生理特征有关,7月份的月平均气温最高,达27.38℃,在高温和强有效光辐射等环境条件下,植物会暂时关闭气孔,降低蒸腾作用,以减少植物体内水分的散失^[21-22]。

表2 利用 SEBS 估算 2014 年 4—10 月

龙子祠泉域月蒸散量

Table 2 Monthly evapotranspiration of the Longzici spring from 2014.4—2014.10 estimated based on SEBS result

月份	代表日蒸散量/mm	月蒸散量/mm
4月	1.79	40.49
5月	2.34	75.75
6月	7.11	197.26
7月	2.64	65.40
8月	5.52	102.84
9月	5.76	107.00
10月	2.42	105.74

3.2 岩性对蒸散发的影响

泉域内出露的地层从老到新依次为早古生代寒武—奥陶系、晚古生代石炭—二叠系、中生代三叠系和新生代的新近—第四系,早古生代的地层为海相沉积的碳酸盐岩,晚古生代以来的地层为陆相或海陆交互形成的碎屑岩沉积物,由此,将泉域内出露的地层概化为碎屑岩区和碳酸盐岩区(图2)。

通过对泉域内碎屑岩区和碳酸盐岩区的陆面蒸散量计算结果的统计发现,所计算的时间系列内碎屑岩区的日蒸散量和月蒸散量几乎都大于碳酸盐岩区(图3),碎屑岩区的日均蒸散量和月均蒸散量分别为4.15 mm和103.92 mm,而碳酸盐岩区对应的分别为3.76 mm和94.70 mm。究其原因,泉域内碳酸盐岩区的岩溶较发育,地下水埋深较大,降水大部分入渗补给深部岩溶地下水,蒸散发主要由植物蒸腾作用构成;而碎屑岩区赋存的是砂岩风化裂隙水,风化带深度一般不超过30 m,地下水位埋深较浅,在沟谷中常发育有很多小泉水,泉水流量一般多在0.1~2.5 L/s,该地区的蒸散发则由地面蒸发和植物蒸腾两部分构成。因此,造成泉域内碎屑岩区的蒸散量高于碳酸盐岩地区。

3.3 植被覆盖率对蒸散发的影响

植被的发育状况是影响区域蒸散量的主要因素之一,通常用植被覆盖率来表示植被的发育状况。植被覆盖率是指植被(包括叶、茎、枝)在地面的垂直投影面积占统计区面积的百分比,它的测量可用地面测量和遥感估算两种方法,地面测量常用于田间尺度,遥感估算常用于区域尺度^[9,23]。目前常用植被指数近似估算植被覆盖率,常用的植被指数为NDVI。下式是基于像元二分模型基础的计算模型:

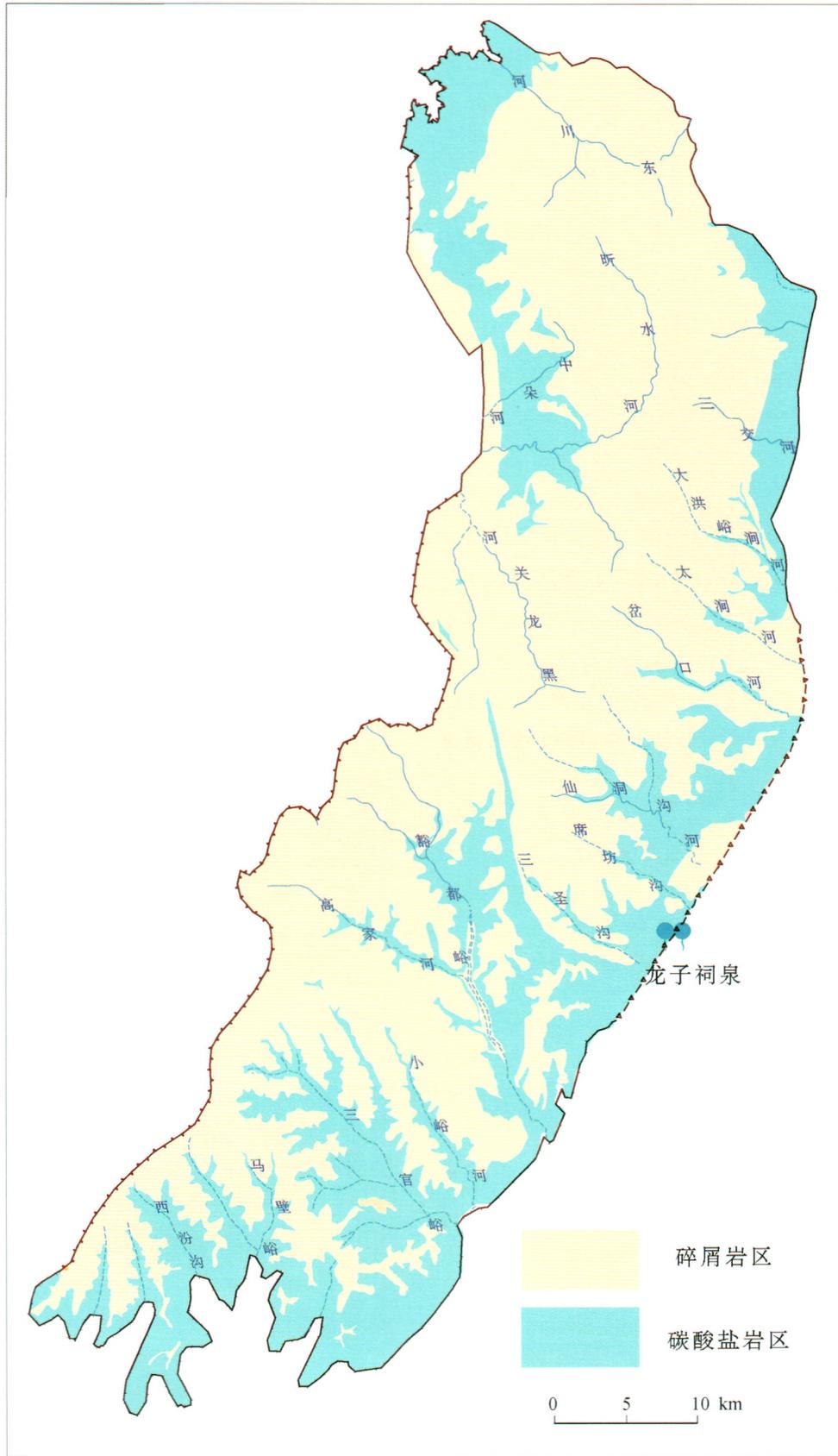


图 2 龙子祠泉域岩性分区图

Fig. 2 Lithology distribution of the Longzici spring drainage

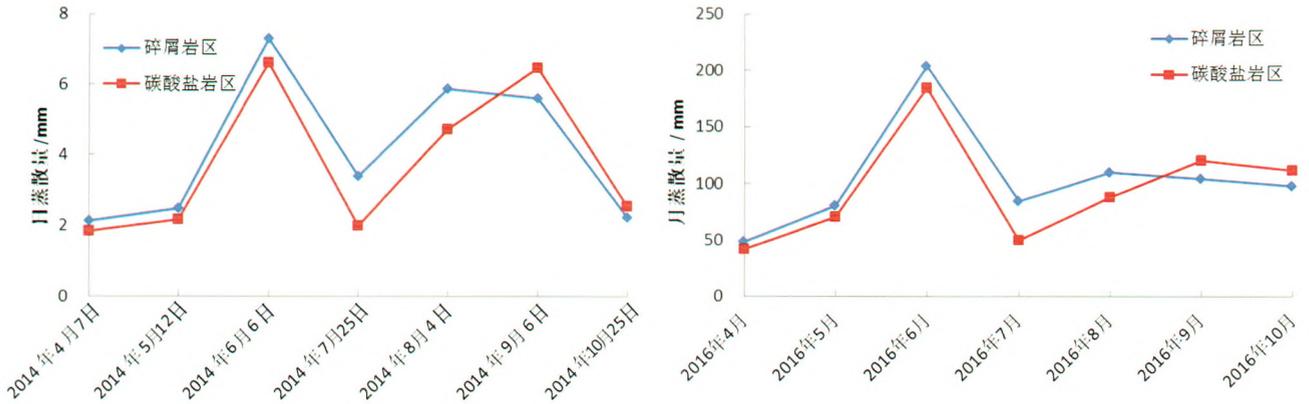


图 3 龙子祠泉域不同岩性地区日蒸散量和月蒸散量

Fig. 3 Daily and monthly evapotranspiration versus different lithology in Longzici spring drainage

$$f_c = \frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \times 100\%$$

式中： f_c 为植被覆盖率；NDVI 为归一化差值植被指数； $NDVI_{min}$ 为植被指数最小值； $NDVI_{max}$ 为植被指数最大值。

采用 2014 年 5 月 22 日的 SPOT6 多光谱遥感数据，根据上式计算得到了泉域内的植被覆盖率，并依此将泉域内的植被覆盖区分为三类：低植被覆盖区 ($15\% < f_c < 40\%$)、中植被覆盖区 ($40\% < f_c < 80\%$) 和高植被覆盖区 ($f_c > 80\%$) (图 4)。

通过将岩性分区图、植被覆盖率分区图和 SEBS 计算得到的陆面日蒸散量进行空间叠加和复合分析后，得到龙子祠泉域 2014 年 4—10 月不同岩性条件和不同植被覆盖率条件下的区域日均蒸散量和月均蒸散量(图 5)。从图 5 中可以看出，在碳酸盐岩地区蒸散量和植被覆盖率呈正相关的关系，即蒸散量随着植被覆盖率的增大而增加，日均蒸散量和月均蒸散量最高值分别为 4.04 mm 和 100.52 mm；而在碎屑岩地区，两者之间并非正相关的关系，陆面蒸散量的最低值出现在中等植被覆盖区，其日均蒸散量和月均蒸散量最低值分别为 4.08 mm 和 102.17 mm。

因此，在碳酸盐岩地区开展植树造林将会增大蒸散量，结合碳酸盐岩裸露区几乎没有地表产流的特点，在碳酸盐岩裸露区提高植被覆盖率将会减少降水对岩溶地下水的入渗补给量；而在碎屑岩区保持中等植被覆盖率可使区域蒸散量降到最低，有利于降雨入渗补给和碎屑岩地区的产流在碳酸盐裸露区对岩溶地下水的渗漏补给。

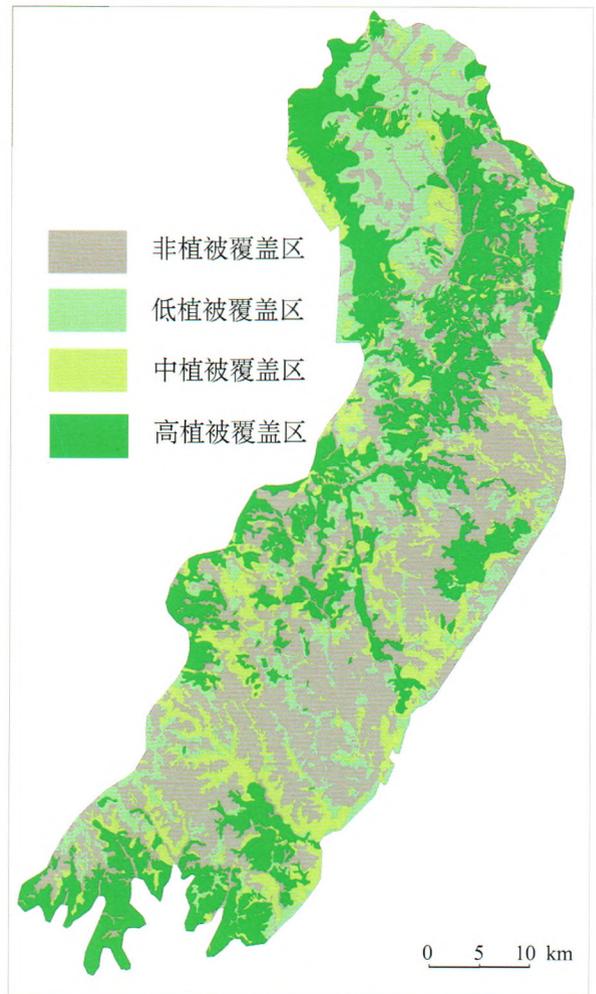


图 4 龙子祠泉域植被覆盖分区图

Fig. 4 Vegetation coverage map of the Longzici spring drainage

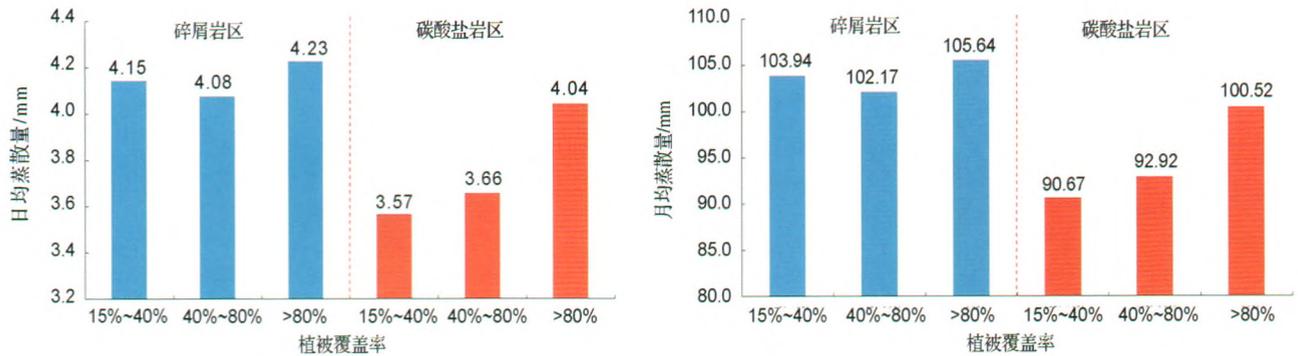


图5 龙子祠泉域不同岩性及不同植被覆盖率的日均蒸散量和月均蒸散量

Fig. 5 Daily and monthly evapotranspiration versus different lithology and vegetation coverage rates in Longzici spring drainage

4 结论

(1) 采用 SEBS 模型和气象站观测数据相结合的方法, 估算了龙子祠泉域 2014 年 4—10 月的月蒸散量, 月蒸散量均值为 99.21 mm, 6 月份的蒸散量最高, 4 月份的蒸散量最低。

(2) 不同岩性地区的蒸散量差异较大, 泉域内碎屑岩地区的日均蒸散量和月均蒸散量均高于碳酸盐岩地区。

(3) 碳酸盐岩地区的蒸散量与植被覆盖率之间呈正相关的关系, 即蒸散量随着植被覆盖率的增大而增加; 而在碎屑岩地区两者之间并非正相关的关系, 中等植被覆盖率地区的陆面蒸散量最低。

参考文献

- [1] 梁永平, 王维泰, 赵春红, 等. 中国北方岩溶水变化特征及其环境问题[J]. 中国岩溶, 2013, 32(1): 34-42.
- [2] 梁永平, 韩行瑞. 中国北方岩溶地下水环境问题与保护[M]. 北京: 地质出版社, 2013.
- [3] 高波. 煤炭资源整合对临汾市城市水源地影响及保护对策[J]. 中国水利, 2014(7): 35-37.
- [4] 陈军锋, 李秀彬. 森林植被变化对流域水文影响的争论[J]. 自然资源学报, 2001, 16(5): 475-478.
- [5] 周晓峰, 赵惠勋, 孙慧珍. 正确评价森林水文效应[J]. 自然资源学报, 2001, 16(5): 420-426.
- [6] 李慧贤, 张永强, 王本德. 基于遥感叶面积指数的水文模型定量评价植被和气候变化对径流的影响[J]. 中国科学: 技术科学, 2012, 42(8): 963-971.
- [7] 李玉山. 黄土高原森林植被对陆地水循环影响的研究[J]. 自然资源学报, 2001, 16(5): 426-430.
- [8] 高洋洋, 左其亭. 植被覆盖变化对流域总蒸散发量的影响研究[J]. 水资源与水工程学报, 2009, 20(2): 26-31.
- [9] 金晓媚, 郭任宏, 夏薇. 基于 MODIS 数据的柴达木盆地区域蒸散量的变化特征[J]. 水文地质工程地质, 2013, 40(6): 8-12.
- [10] 章程, 袁道先. IGCP448 岩溶生态系统全球对比研究进展[J]. 中国岩溶, 2005, 24(1): 83-88.
- [11] 梁永平, 潘军峰. 山西省岩溶泉域水资源保护[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2008.
- [12] Su Z. Remote sensing of land use and vegetation for mesoscale hydrological studies [J]. International Journal of Remote Sensing, 2000, 21(2): 213-233.
- [13] Su Z. The Surface Energy Balance System (SEBS) for estimation of turbulent heat fluxes [J]. Hydrology and Earth System Sciences, 2002, 6(1): 85-89.
- [14] 郭晓寅, 程国栋. 遥感技术应用于地表面蒸散发的研究进展[J]. 地球科学进展, 2004, 19(1): 107-114.
- [15] 卢娜, 万力. 基于 RS 的鄂尔多斯北部盆地地表蒸发量的计算[J]. 地质通报, 2008, 27(8): 1165-1167.
- [16] 王黎明, 周云轩, 王钦军. 吉林省西部地表蒸散与土地利用/覆盖变化关系[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2009, 39(5): 907-911.
- [17] 崔亚莉, 徐映雪, 邵景力, 等. 应用遥感方法研究黄河三角洲地表蒸发及其与下垫面关系[J]. 地学前缘, 2005, 12(S1): 159-165.
- [18] 陈云浩, 李晓兵, 史培军. 中国西北地区蒸发散量计算的遥感研究[J]. 地理学报, 2001, 56(3): 261-268.
- [19] 吴炳华, 邵建华. 遥感估算蒸腾蒸发量的时空尺度推演方法及应用[J]. 水利学报, 2006, 37(3): 286-292.
- [20] 金晓媚, 万力, 梁继运. 水均衡法验证蒸散量计算的可靠性: 以张掖盆地为例[J]. 现代地质, 2008, 22(2): 299-303.
- [21] 庞冬辉, 沈丽娜, 蒋忠诚, 等. 广西弄拉峰丛洼地灌丛岩生优势种光合生理生态特征日变化研究[J]. 中国岩溶, 2010, 29(3): 293-300.
- [22] 杨劼, 高清竹, 乌力吉, 等. 库布齐沙地油蒿蒸腾作用特征及其与环境因子的关系[J]. 内蒙古大学学报(自然科学版), 1999, 30(3): 372-376.
- [23] 梁钊雄, 王兮之, 魏兴琥, 等. 基于 TM 影像的广西河池市岩溶地区植被覆盖度的动态变化研究[J]. 中国岩溶, 2014, 33(2): 208-215.

Study on the regional evapotranspiration over different surface conditions of the Longzici spring drainage

SHEN Haoyong, LIANG Yongping, CHENG Yang, HUANG Chunling

(*Institute of Karst Geology, CAGS/Key Laboratory of Karst Dynamics, MLR&GZAR, Guilin, Guangxi 541004, China*)

Abstract The Longzici spring system, one of the largest karst spring in North China, is located in the western margin of the Linfen basin, covering an area of 2,250 km². The springs discharge at an annually average rate of 4.81 m³/s derived from the records from 1955 to 2013. The karst water has been an important source for local water supply. But now the spring flow dramatically degrades because of climate change and human activities. Precipitation is the main source of the spring water recharge. This recharge occurs in two ways, namely the infiltration of precipitation over the carbonate rock areas and linear leakage of stream and river water. So it is very important to evaluate the recharge of karst water through an afforestation project. Based on NOAA/AVHRR data, the daily and monthly evapotranspiration (ET) of the Longzici spring are estimated during the period of 2014.4–2014.10, using surface energy balance system (SEBS) and the data of meteorological stations in Linfen. The ET has a monthly average value of 99.21 mm, with the maximum monthly value of 197.26 mm in June and the minimum one of 40.49 mm in April. In addition, the regional ET over different lithology and vegetation coverage rates are analyzed through spatial overlay. The results indicate that the ET increases with the increasing vegetation coverage rates in the carbonate rock outcrop regions, while it is the lowest in the medium vegetation coverage rate of clastic rock regions. Overall, the ET in the clastic rock regions is higher than that in the carbonate rock outcrop regions. If only ET is taken into consideration, keeping the medium vegetation coverage rate in clastic rocks will be favorable to increasing of recharge of karst water and afforestation in carbonate rock areas will enhance ET but not favorable to recharge from rainfall infiltration.

Key words surface energy balance system (SEBS), evapotranspiration, surface condition, karst water supply, Longzici spring

(编辑 黄晨晖)

(上接第 206 页)

Spatiotemporal variations of soil physical characteristics in rocky desertification areas of Guizhou karst-cluster depression

LI Anding¹, GUO Chunyan², FU Yuhong³, LONG Xiuqin²

(1. *Institute of Mountain Resources, Guizhou Academy of Science, Guizhou, Guiyang 550001, China;*

2. *Guizhou Botanical Garden, Guizhou Academy of Sciences, Guiyang, Guizhou 550004, China;*

3. *Guizhou Education University, Guiyang, Guizhou 550018, China*)

Abstract The karst peak cluster depression is ranked as the second place of eight rocky desertification control areas in our country, which is of 3.1 million hm². Guizhou province is the region with most serious rocky desertification nationwide. In combination of field investigation with laboratory analysis and using SPSS19.0 statistics method, this work focused on the change of soil physical characteristics in different seasons and different landform parts of this region. The results show that, (1) There is big spatial and temporal differentiations. Besides a few loci with weak variation, others are characterized by medium degrees of variation related to complex and varied habitat types and heterogeneity of habitat height. (2) Soil physical characteristics do not change significantly with slopes, while showing prominent variations in different landforms (upper, middle and lower slopes) and different seasons (spring, summer, autumn, winter). (3) For different vegetation types, in addition to the non-capillary porosity, soil physical characteristics such as natural water content change significantly. In the areas with shrubbery and secondary woodland (economic fruit woods), the soil is relatively loose and the permeability is good, while in the coniferous forests or grassland areas, the soil is viscous and heavy, and the permeability is relatively poor.

Key words karst peak-cluster depression, rocky desertification area, soil physical characteristics, temporal and spatial variation, Guizhou Province

(编辑 张玲)