



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 112529722 A

(43)申请公布日 2021.03.19

(21)申请号 202010359804.6

(22)申请日 2020.04.30

(71)申请人 中国科学院地球化学研究所  
地址 550081 贵州省贵阳市观山湖区林城西路99号

(72)发明人 白晓永 王世杰 吴路华 陈飞  
周苗 田义超 罗光杰 李琴  
王金凤 谢元欢 杨钰杰 李朝君  
邓元红 胡泽银 田诗琪 路茜  
冉晨 刘闵

(74)专利代理机构 北京高沃律师事务所 11569  
代理人 刘凤玲

(51)Int.Cl.  
G06Q 50/06(2012.01)  
G06F 30/20(2020.01)

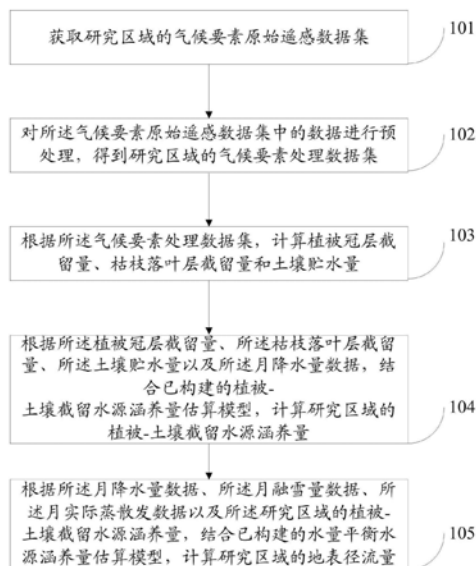
权利要求书3页 说明书9页 附图2页

(54)发明名称

一种基于像元尺度的地表径流量估算方法及系统

(57)摘要

本发明涉及一种基于像元尺度的地表径流量估算方法及系统,包括根据获取的研究区域的气候要素原始遥感数据集,计算植被冠层截留量、枯枝落叶层截留量和土壤贮水量;根据植被冠层截留量、枯枝落叶层截留量、土壤贮水量以及月降水量数据,结合已构建的植被-土壤截留水源涵养量估算模型,计算研究区域的植被-土壤截留水源涵养量;根据月降水量数据、月融雪量数据、月实际蒸散发数据以及研究区域的植被-土壤截留水源涵养量,结合已构建的水量平衡水源涵养量估算模型,计算研究区域的地表径流量。本发明突破了传统监测过程的局限性,提高了区域适用性和精度,并减小了评估难度,缩小了评估时间。



1. 一种基于像元尺度的地表径流量估算方法,其特征在于,包括:

获取研究区域的气候要素原始遥感数据集;所述气候要素原始遥感数据集包括月降水量数据、月实际蒸散发数据、月土壤水含量数据、月融雪量数据、月尺度的植被覆盖度和月尺度的叶面积指数;

根据所述气候要素原始遥感数据集,计算植被冠层截留量、枯枝落叶层截留量和土壤贮水量;

根据所述植被冠层截留量、所述枯枝落叶层截留量、所述土壤贮水量以及所述月降水量数据,结合已构建的植被-土壤截留水源涵养量估算模型,计算研究区域的植被-土壤截留水源涵养量;所述植被-土壤截留水源涵养量估算模型是将植被冠层储水量、枯枝落叶层截留量和土壤贮水量计算累加,并与月降水量数据比较后构建得到的;

根据所述月降水量数据、所述月融雪量数据、所述月实际蒸散发数据以及所述研究区域的植被-土壤截留水源涵养量,结合已构建的水量平衡水源涵养量估算模型,计算研究区域的地表径流量;所述水量平衡水源涵养量估算模型是将所述月降水量数据与所述月融雪量数据的和,依次与月实际蒸散发数据、地表径流量作差后构建得到的。

2. 根据权利要求1所述的一种基于像元尺度的地表径流量估算方法,其特征在于,在获取研究区域的气候要素原始遥感数据集之后,还包括:

对所述气候要素原始遥感数据集中的数据进行预处理,得到研究区域的气候要素处理数据集;预处理的步骤依次包括格式转换、影像校正、裁剪、配准、质量检查和投影转换。

3. 根据权利要求2所述的一种基于像元尺度的地表径流量估算方法,其特征在于,所述根据所述气候要素原始遥感数据集,计算植被冠层截留量、枯枝落叶层截留量和土壤贮水量,具体包括:

根据公式 $CWS = F_c \times LAI \times H_{sv}$ 计算植被冠层截留量;其中,CWS为植被冠层截留量,单位为mm;H<sub>sv</sub>为叶面积平均最大持水深,单位为mm;F<sub>c</sub>为气候要素处理数据集中的植被覆盖度;LAI为气候要素处理数据集中的叶面积指数;

根据公式 $CIS = (0.085R_m - 0.1R_0) \times M$ 计算枯枝落叶层截留量;其中,CIS为枯枝落叶层截留量,单位为mm;R<sub>0</sub>为植被平均自然含水率,单位为g/kg;R<sub>m</sub>为植被最大持水率,单位为g/kg;M为枯落物蓄积量,单位为t/hm<sup>2</sup>;

将所述气候要素处理数据集中的月土壤水含量数据确定为土壤贮水量。

4. 根据权利要求2所述的一种基于像元尺度的地表径流量估算方法,其特征在于,所述根据所述植被冠层截留量、所述枯枝落叶层截留量、所述土壤贮水量以及所述月降水量数据,结合已构建的植被-土壤截留水源涵养量估算模型,计算研究区域的植被-土壤截留水源涵养量,具体包括:

将所述植被冠层截留量、所述枯枝落叶层截留量、所述土壤贮水量以及所述气候要素处理数据集中的月降水量数据输入到已构建的植被-土壤截留水源涵养量估算模型,计算研究区域的植被-土壤截留水源涵养量;其中,所述植被-土壤截留水源涵养量估算模型的公式为:

$$V_{\max} = CWS + CIS + SMS;$$

$$\begin{cases} Q_{WC} = V_{\max} & P_i \geq V_{\max} \\ Q_{WC} = P_i & P_i < V_{\max} \end{cases};$$

其中,  $V_{\max}$ 为森林最大截留能力,单位为mm;CWS为植被冠层截留量,单位为mm;CIS为枯枝落叶层截留量,单位为mm;SMS为土壤贮水量,单位为mm; $Q_{WC}$ 为植被-土壤截留水源涵养量,单位为mm; $P_i$ 为第*i*个月降水量数据,单位为mm。

5. 根据权利要求2所述的一种基于像元尺度的地表径流量估算方法,其特征在于,所述根据所述月降水量数据、所述月融雪量数据、所述月实际蒸散发数据以及所述研究区域的植被-土壤截留水源涵养量,结合已构建的水量平衡水源涵养量估算模型,计算研究区域的地表径流量,具体包括:

将所述气候要素处理数据集中的月降水量数据、所述气候要素处理数据集中的月融雪量数据、所述气候要素处理数据集中的月实际蒸散发数据以及所述研究区域的植被-土壤截留水源涵养量输入到所述水量平衡水源涵养量估算模型,得到研究区域的地表径流量;其中,所述水量平衡水源涵养量估算模型的公式为:

$$Q_{WC} = Q_{SN} + P - E - R_{Surface};$$

其中, $Q_{WC}$ 为植被-土壤截留水源涵养量,单位为mm; $P$ 为月降水量数据,单位为mm; $E$ 为月实际蒸散发数据,单位为mm; $R_{Surface}$ 为地表径流量,单位为mm; $Q_{SN}$ 为月融雪量数据,单位为mm。

6. 一种基于像元尺度的地表径流量估算系统,其特征在于,包括:

气候要素原始遥感数据集获取模块,用于获取研究区域的气候要素原始遥感数据集;所述气候要素原始遥感数据集包括月降水量数据、月实际蒸散发数据、月土壤水含量数据、月融雪量数据、月尺度的植被覆盖度和月尺度的叶面积指数;

相关因子计算模块,用于根据所述气候要素原始遥感数据集,计算植被冠层截留量、枯枝落叶层截留量和土壤贮水量;

研究区域植被-土壤截留水源涵养量计算模块,用于根据所述植被冠层截留量、所述枯枝落叶层截留量、所述土壤贮水量以及所述月降水量数据,结合已构建的植被-土壤截留水源涵养量估算模型,计算研究区域的植被-土壤截留水源涵养量;所述植被-土壤截留水源涵养量估算模型是将植被冠层储水量、枯枝落叶层截留量和土壤贮水量计算累加,并与月降水量数据比较后构建得到的;

研究区域地表径流量计算模块,用于根据所述月降水量数据、所述月融雪量数据、所述月实际蒸散发数据以及所述研究区域的植被-土壤截留水源涵养量,结合已构建的水量平衡水源涵养量估算模型,计算研究区域的地表径流量;所述水量平衡水源涵养量估算模型是将所述月降水量数据与所述月融雪量数据的和,依次与月实际蒸散发数据、地表径流量作差后构建得到的。

7. 根据权利要求6所述的一种基于像元尺度的地表径流量估算系统,其特征在于,还包括:

预处理模块,用于对所述气候要素原始遥感数据集中的数据进行预处理,得到研究区域的气候要素处理数据集;预处理的操作步骤依次包括格式转换、影像校正、裁剪、配准、质量检查和投影转换。

8. 根据权利要求7所述的一种基于像元尺度的地表径流量估算系统,其特征在于,所述相关因子计算模块,具体包括:

植被冠层截留量计算单元,用于根据公式 $CWS = F_c \times LAI \times H_{sv}$ 计算植被冠层截留量;其中,CWS为植被冠层截留量,单位为mm; $H_{sv}$ 为叶面积平均最大持水深,单位为mm; $F_c$ 为气候要素处理数据集中的植被覆盖度;LAI为气候要素处理数据集中的叶面积指数;

枯枝落叶层截留量计算单元,用于根据公式 $CIS = (0.085R_m - 0.1R_0) \times M$ 计算枯枝落叶层截留量;其中,CIS为枯枝落叶层截留量,单位为mm; $R_0$ 为植被平均自然含水率,单位为g/kg; $R_m$ 为植被最大持水率,单位为g/kg; $M$ 为枯落物蓄积量,单位为t/hm<sup>2</sup>;

土壤贮水量确定单元,用于将所述气候要素处理数据集中的月土壤水含量数据确定为土壤贮水量。

9. 根据权利要求7所述的一种基于像元尺度的地表径流量估算系统,其特征在于,所述研究区域植被-土壤截留水源涵养量计算模块,具体包括:

研究区域植被-土壤截留水源涵养量计算单元,用于将所述植被冠层截留量、所述枯枝落叶层截留量、所述土壤贮水量以及所述气候要素处理数据集中的月降水量数据输入到已构建的植被-土壤截留水源涵养量估算模型,计算研究区域的植被-土壤截留水源涵养量;其中,所述植被-土壤截留水源涵养量估算模型的公式为:

$$V_{\max} = CWS + CIS + SMS;$$

$$\begin{cases} Q_{WC} = V_{\max} & P_i \geq V_{\max} \\ Q_{WC} = P_i & P_i < V_{\max} \end{cases};$$

其中, $V_{\max}$ 为森林最大截留能力,单位为mm;CWS为植被冠层截留量,单位为mm;CIS为枯枝落叶层截留量,单位为mm;SMS为土壤贮水量,单位为mm; $Q_{WC}$ 为植被-土壤截留水源涵养量,单位为mm; $P_i$ 为第i个月降水量数据,单位为mm。

10. 根据权利要求7所述的一种基于像元尺度的地表径流量估算系统,其特征在于,所述研究区域地表径流量计算模块,具体包括:

研究区域地表径流量计算单元,用于将所述气候要素处理数据集中的月降水量数据、所述气候要素处理数据集中的月融雪量数据、所述气候要素处理数据集中的月实际蒸散发数据以及所述研究区域的植被-土壤截留水源涵养量输入到所述水量平衡水源涵养量估算模型,得到研究区域的地表径流量;其中,所述水量平衡水源涵养量估算模型的公式为:

$$Q_{WC} = Q_{SN} + P - E - R_{\text{Surface}};$$

其中, $Q_{WC}$ 为植被-土壤截留水源涵养量,单位为mm; $P$ 为月降水量数据,单位为mm; $E$ 为月实际蒸散发数据,单位为mm; $R_{\text{Surface}}$ 为地表径流量,单位为mm; $Q_{SN}$ 为月融雪量数据,单位为mm。

## 一种基于像元尺度的地表径流量估算方法及系统

### 技术领域

[0001] 本发明涉及生态环境监测与水资源利用领域,特别是涉及一种基于像元尺度的地表径流量估算方法及系统。

### 背景技术

[0002] 地表径流量是可利用水资源的重要部分,维持着生态平衡和人类社会发展。然而,当前的地表径流量的估算主要是依赖于河道断面及水系监测、陆地水量平衡方程推算、以及降雨-径流系数法估算模型三种方式。然而,河道断面及水系监测范围较小,且难度较大,只能得到区域和局部点面上的径流量特征,陆地水量平衡方程只能得到区域或流域的径流总量特征,降雨-径流系数法估算模型中由于径流系数具有显著的空间异质性,且监测难度极大,只能基于点上地表径流系数的试验监测而估算该点上地表径流量。由此可见,传统方法在尺度和方法上均难以适用于大尺度研究区和空间局部。

### 发明内容

[0003] 本发明的目的是提供一种基于像元尺度的地表径流量估算方法及系统,突破传统监测过程的局限性,提高区域适用性和精度,并减小评估难度,缩小评估时间。

[0004] 为实现上述目的,本发明提供了如下方案:

[0005] 一种基于像元尺度的地表径流量估算方法,包括:

[0006] 获取研究区域的气候要素原始遥感数据集;所述气候要素原始遥感数据集包括月降水量数据、月实际蒸散发数据、月土壤水含量数据、月融雪量数据、月尺度的植被覆盖度和月尺度的叶面积指数;

[0007] 根据所述气候要素原始遥感数据集,计算植被冠层截留量、枯枝落叶层截留量和土壤贮水量;

[0008] 根据所述植被冠层截留量、所述枯枝落叶层截留量、所述土壤贮水量以及所述月降水量数据,结合已构建的植被-土壤截留水源涵养量估算模型,计算研究区域的植被-土壤截留水源涵养量;所述植被-土壤截留水源涵养量估算模型是将植被冠层储水量、枯枝落叶层截留量和土壤贮水量计算累加,并与月降水量数据比较后构建得到的;

[0009] 根据所述月降水量数据、所述月融雪量数据、所述月实际蒸散发数据以及所述研究区域的植被-土壤截留水源涵养量,结合已构建的水量平衡水源涵养量估算模型,计算研究区域的地表径流量;所述水量平衡水源涵养量估算模型是将所述月降水量数据与所述月融雪量数据的和,依次与月实际蒸散发数据、地表径流量作差比较后构建得到的。

[0010] 可选的,在获取研究区域的气候要素原始遥感数据集之后,还包括:

[0011] 对所述气候要素原始遥感数据集中的数据进行预处理,得到研究区域的气候要素处理数据集;预处理的操作步骤依次包括格式转换、影像校正、裁剪、配准、质量检查和投影转换。

[0012] 可选的,所述根据所述气候要素原始遥感数据集,计算植被冠层截留量、枯枝落叶

层截留量和土壤贮水量,具体包括:

[0013] 根据公式 $CWS = F_c \times LAI \times H_{sv}$ 计算植被冠层截留量;其中,CWS为植被冠层截留量,单位为mm; $H_{sv}$ 为叶面积平均最大持水深,单位为mm; $F_c$ 为气候要素处理数据集中的植被覆盖度;LAI为气候要素处理数据集中的叶面积指数;

[0014] 根据公式 $CIS = (0.085R_m - 0.1R_0) \times M$ 计算枯枝落叶层截留量;其中,CIS为枯枝落叶层截留量,单位为mm; $R_0$ 为植被平均自然含水率,单位为g/kg; $R_m$ 为植被最大持水率,单位为g/kg; $M$ 为枯落物蓄积量,单位为t/hm<sup>2</sup>;

[0015] 将所述气候要素处理数据集中的月土壤水含量数据确定为土壤贮水量。

[0016] 可选的,所述根据所述植被冠层截留量、所述枯枝落叶层截留量、所述土壤贮水量以及所述月降水量数据,结合已构建的植被-土壤截留水源涵养量估算模型,计算研究区域的植被-土壤截留水源涵养量,具体包括:

[0017] 将所述植被冠层截留量、所述枯枝落叶层截留量、所述土壤贮水量以及所述气候要素处理数据集中的月降水量数据输入到已构建的植被-土壤截留水源涵养量估算模型,计算研究区域的植被-土壤截留水源涵养量;其中,所述植被-土壤截留水源涵养量估算模型的公式为:

[0018]  $V_{\max} = CWS + CIS + SMS$ ;

[0019] 
$$\begin{cases} Q_{WC} = V_{\max} & P_i \geq V_{\max} \\ Q_{WC} = P_i & P_i < V_{\max} \end{cases};$$

[0020] 其中, $V_{\max}$ 为森林最大截留能力,单位为mm;CWS为植被冠层截留量,单位为mm;CIS为枯枝落叶层截留量,单位为mm;SMS为土壤贮水量,单位为mm; $Q_{WC}$ 为植被-土壤截留水源涵养量,单位为mm; $P_i$ 为第i个月降水量数据,单位为mm。

[0021] 可选的,所述根据所述月降水量数据、所述月融雪量数据、所述月实际蒸散发数据以及所述研究区域的植被-土壤截留水源涵养量,结合已构建的水量平衡水源涵养量估算模型,计算研究区域的地表径流量,具体包括:

[0022] 将所述气候要素处理数据集中的月降水量数据、所述气候要素处理数据集中的月融雪量数据、所述气候要素处理数据集中的月实际蒸散发数据以及所述研究区域的植被-土壤截留水源涵养量输入到所述水量平衡水源涵养量估算模型,得到研究区域的地表径流量;其中,所述水量平衡水源涵养量估算模型的公式为:

[0023]  $Q_{WC} = Q_{SN} + P - E - R_{\text{Surface}}$ ;

[0024] 其中, $Q_{WC}$ 为植被-土壤截留水源涵养量,单位为mm; $P$ 为月降水量数据,单位为mm; $E$ 为月实际蒸散发数据,单位为mm; $R_{\text{Surface}}$ 为地表径流量,单位为mm; $Q_{SN}$ 为月融雪量数据,单位为mm。

[0025] 一种基于像元尺度的地表径流量估算系统,包括:

[0026] 气候要素原始遥感数据集获取模块,用于获取研究区域的气候要素原始遥感数据集;所述气候要素原始遥感数据集包括月降水量数据、月实际蒸散发数据、月土壤水含量数据、月融雪量数据、月尺度的植被覆盖度和月尺度的叶面积指数;

[0027] 相关因子计算模块,用于根据所述气候要素原始遥感数据集,计算植被冠层截留量、枯枝落叶层截留量和土壤贮水量;

[0028] 研究区域植被-土壤截留水源涵养量计算模块,用于根据所述植被冠层截留量、所述枯枝落叶层截留量、所述土壤贮水量以及所述月降水量数据,结合已构建的植被-土壤截留水源涵养量估算模型,计算研究区域的植被-土壤截留水源涵养量;所述植被-土壤截留水源涵养量估算模型是将植被冠层储水量、枯枝落叶层截留量和土壤贮水量计算累加,并与月降水量数据比较后构建得到的;

[0029] 研究区域地表径流量计算模块,用于根据所述月降水量数据、所述月融雪量数据、所述月实际蒸散发数据以及所述研究区域的植被-土壤截留水源涵养量,结合已构建的水量平衡水源涵养量估算模型,计算研究区域的地表径流量;所述水量平衡水源涵养量估算模型是将所述月降水量数据与所述月融雪量数据的和,依次与月实际蒸散发数据、地表径流量作差后构建得到的。

[0030] 可选的,还包括:

[0031] 预处理模块,用于对所述气候要素原始遥感数据集中的数据进行预处理,得到研究区域的气候要素处理数据集;预处理的操作步骤依次包括格式转换、影像校正、裁剪、配准、质量检查和投影转换。

[0032] 可选的,所述相关因子计算模块,具体包括:

[0033] 植被冠层截留量计算单元,用于根据公式 $CWS = F_c \times LAI \times H_{sv}$ 计算植被冠层截留量,单位为mm;其中,CWS为植被冠层截留量; $H_{sv}$ 为叶面积平均最大持水深,单位为mm; $F_c$ 为气候要素处理数据集中的植被覆盖度;LAI为气候要素处理数据集中的叶面积指数;

[0034] 枯枝落叶层截留量计算单元,用于根据公式 $CIS = (0.085R_m - 0.1R_0) \times M$ 计算枯枝落叶层截留量;其中,CIS为枯枝落叶层截留量,单位为mm; $R_0$ 为植被平均自然含水率,单位为g/kg; $R_m$ 为植被最大持水率,单位为g/kg; $M$ 为枯落物蓄积量,单位为 $t/hm^2$ ;

[0035] 土壤贮水量确定单元,用于将所述气候要素处理数据集中的月土壤水含量数据确定为土壤贮水量。

[0036] 可选的,所述研究区域植被-土壤截留水源涵养量计算模块,具体包括:

[0037] 研究区域植被-土壤截留水源涵养量计算单元,用于将所述植被冠层截留量、所述枯枝落叶层截留量、所述土壤贮水量以及所述气候要素处理数据集中的月降水量数据输入到已构建的植被-土壤截留水源涵养量估算模型,计算研究区域的植被-土壤截留水源涵养量;其中,所述植被-土壤截留水源涵养量估算模型的公式为:

[0038]  $V_{max} = CWS + CIS + SMS$ ;

$$[0039] \begin{cases} Q_{WC} = V_{max} & P_i \geq V_{max} \\ Q_{WC} = P_i & P_i < V_{max} \end{cases};$$

[0040] 其中, $V_{max}$ 为森林最大截留能力,单位为mm;CWS为植被冠层截留量,单位为mm;CIS为枯枝落叶层截留量,单位为mm;SMS为土壤贮水量,单位为mm; $Q_{WC}$ 为植被-土壤截留水源涵养量,单位为mm; $P_i$ 为第i个月降水量数据,单位为mm。

[0041] 可选的,所述研究区域地表径流量计算模块,具体包括:

[0042] 研究区域地表径流量计算单元,用于将所述气候要素处理数据集中的月降水量数据、所述气候要素处理数据集中的月融雪量数据、所述气候要素处理数据集中的月实际蒸散发数据以及所述研究区域的植被-土壤截留水源涵养量输入到所述水量平衡水源涵养量

估算模型,得到研究区域的地表径流量;其中,所述水量平衡水源涵养量估算模型的公式为:

[0043]  $Q_{WC} = Q_{SN} + P - E - R_{Surface}$ ;

[0044] 其中, $Q_{WC}$ 为植被-土壤截留水源涵养量,单位为mm; $P$ 为月降水量数据,单位为mm; $E$ 为月实际蒸散发数据,单位为mm; $R_{Surface}$ 为地表径流量,单位为mm; $Q_{SN}$ 为月融雪量数据,单位为mm。

[0045] 根据本发明提供的具体实施例,本发明公开了以下技术效果:

[0046] 本发明提供了一种基于像元尺度的地表径流量估算方法及系统,包括根据获取的研究区域的气候要素原始遥感数据集,计算植被冠层截留量、枯枝落叶层截留量和土壤贮水量;根据植被冠层截留量、枯枝落叶层截留量、土壤贮水量以及月降水量数据,结合已构建的植被-土壤截留水源涵养量估算模型,计算研究区域的植被-土壤截留水源涵养量;根据月降水量数据、月融雪量数据、月实际蒸散发数据以及研究区域的植被-土壤截留水源涵养量,结合已构建的水量平衡水源涵养量估算模型,计算研究区域的地表径流量。本发明突破了传统监测过程的局限性,提高了区域适用性和精度,并减小了评估难度,缩小了评估时间。

## 附图说明

[0047] 为了更清楚地说明本发明实施例或现有技术中的技术方案,下面将对实施例中所需要使用的附图作简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图仅仅是本发明的一些实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动性的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0048] 图1为本发明基于像元尺度的地表径流量估算方法的流程图;

[0049] 图2为本发明基于像元尺度的地表径流量估算系统的结构图。

## 具体实施方式

[0050] 下面将结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0051] 本发明的目的是提供一种基于像元尺度的地表径流量估算方法及系统,以解决现有技术中难以实现在空间上地表径流量估算的技术缺陷。

[0052] 为使本发明的上述目的、特征和优点能够更加明显易懂,下面结合附图和具体实施方式对本发明作进一步详细的说明。

[0053] 如图1所示,本发明提供了一种基于像元尺度的地表径流量估算方法,包括:

[0054] 步骤101:获取研究区域的气候要素原始遥感数据集;所述气候要素原始遥感数据集包括月降水量数据、月实际蒸散发数据、月土壤水含量数据、月融雪量数据、月尺度的土层厚度数据、植被归一化指数、植被覆盖度以及叶面积指数等。

[0055] 气候要素原始遥感数据集包括各月尺度的降水量数据、实际蒸散发数据、厚度为0-10cm、10-40cm、40-100cm和100-200cm的土壤水含量数据、融雪量数据,并合并成年值数



据。这些数据均来源于美国国家航空航天局(NASA)(网址:<https://www.nasa.gov/>)的FLDAS数据集(FLDAS Noah Land Surface Model L4 Global Monthly 0.1 x 0.1 degree (MERRA-2 and CHIRPS) V001 (FLDAS\_NOAH01\_C\_GL\_M) atGESDISC(网址:<https://ldas.gsfc.nasa.gov/FLDAS/>)),FLDAS数据集的空间分辨率为 $0.1^{\circ} \times 0.1^{\circ}$ ,或GLDAS数据集。气候要素原始遥感数据集的时间分辨率为每月,空间范围覆盖全球(60S,180W,90N,180E)。

[0056] 此外,用全球土壤深度数据来计算月尺度的土层厚度数据,全球土壤深度数据来源于网址:<https://daac.ornl.gov/>,空间分辨率为 $0.1^{\circ} \times 0.1^{\circ}$ ,和网址:<https://www.isric.org/explore/soilgrids>,也可以根据研究尺度选择不同空间分辨率的土壤深度数据,例如 $250\text{m} \times 250\text{m}$ 、 $1\text{km} \times 1\text{km}$ 、 $5\text{km} \times 5\text{km}$ 和 $10\text{km} \times 10\text{km}$ 。2015年最新行政区划矢量数据均来源于中国科学院资源环境科学数据网(网址:<http://www.resdc.cn/>)和国家测绘地理信息局(网址:<http://www.sbsm.gov.cn/article/zxbs/dtfw/>)。

[0057] 其他植被参数取值来自于文献参考,用于计算植被覆盖度的植被归一化指数(NDVI)以及用来计算植被冠层水截留量的叶面积指数(LAI)数据均来自于美国国家航空航天局(NASA)发布的中等分辨率的MODIS13Q1NDVI数据集(网址:<https://www.nasa.gov/>)。

[0058] 全球陆地融雪量数据(GLDAS)来源于全球陆地数据同化系统(Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center,简称GES DISC,(GLDAS Noah Land Surface Model L4 Monthly 0.25 x 0.25 degree),网址:<https://mirador.gsfc.nasa.gov/>)。

[0059] 步骤102:对所述气候要素原始遥感数据集中的数据进行预处理,得到研究区域的气候要素处理数据集;预处理的主要操作步骤依次包括格式转换、影像校正、裁剪、配准、质量检查、投影转换等。

[0060] 本发明利用数据同化方法,将气候要素原始遥感数据集中所有栅格数据的栅格单元大小均转为相同的空间分辨率,投影方式全部采用ALBERS等积圆锥投影(Krasovsky-1940-Albers,为一种投影坐标系)方式。

[0061] 上述全球尺度的栅格数据通过格式转换、影像校正、裁剪、配准、质量检查、投影转换后,最终得到研究区域的气候要素处理数据集。

[0062] 基于气候要素处理数据集,然后算出植被冠层截留量、枯枝落叶层截留量和土壤贮水量,最终通过两种水源涵养量计算模型推导出地表径流量。

[0063] 步骤103:根据所述气候要素处理数据集,计算植被冠层截留量、枯枝落叶层截留量和土壤贮水量。

[0064] 其中,植被冠层截留量是根据叶面积平均最大持水深、植被覆盖度和叶面积指数计算得到的。其中,叶面积平均最大持水深是根据文献和不同植被类型进行经验取值确定的。

[0065] 植被冠层截留量的计算公式为:

$$[0066] \quad CWS = F_c \times LAI \times H_{sv} \quad (1);$$

[0067] 式中:CWS为植被冠层截留量,单位为mm; $H_{sv}$ 为叶面积平均最大持水深,单位为mm; $F_c$ 为植被覆盖度;LAI为叶面积指数。

[0068] 枯枝落叶层截留量是根据植被平均自然含水率、植被最大持水率和枯落物蓄积量

计算得到的,从而计算其变化量。

[0069] 枯枝落叶层截留量的计算公式为:

$$[0070] \quad CIS = (0.085R_m - 0.1R_0) \times M \quad (2);$$

[0071] 式中,CIS为枯枝落叶层截留量,单位为mm; $R_0$ 为植被平均自然含水率,单位为g/kg; $R_m$ 为植被最大持水率,单位为g/kg; $M$ 为枯落物蓄积量,单位为t/hm<sup>2</sup>。其中,植被平均自然含水率、植被最大持水率和枯落物蓄积量是根据文献和不同植被类型进行经验取值确定。

[0072] 本发明的土壤贮水量,舍弃传统的土层厚度(可取值0.4米)与非毛管空隙度的乘积来计算土壤贮水量的方法,而利用土壤含水量遥感数据作为土壤贮水量。具体为:所述土壤贮水量是利用美国国家航空航天局(NASA)(网址:<https://www.nasa.gov/>)的FLDAS数据集(FLDAS Noah Land Surface Model L4 Global Monthly 0.1 x 0.1 degree (MERRA-2 and CHIRPS) V001 (FLDAS\_NOAH01\_C\_GL\_M) at GES DISC(网址:<https://ldas.gsfc.nasa.gov/FLDAS/>)),空间分辨率为0.1°×0.1°的且经过预处理后的土壤含水量数据作为土壤贮水量,该土壤贮水量数据中的土壤深度为2m。

[0073] 步骤104:根据所述植被冠层截留量、所述枯枝落叶层截留量、所述土壤贮水量以及所述月降水量数据,结合已构建的植被-土壤截留水源涵养量估算模型,计算研究区域的植被-土壤截留水源涵养量;所述植被-土壤截留水源涵养量估算模型是将植被冠层储水量、枯枝落叶层截留量和土壤贮水量计算累加,并与月降水量数据比较后构建得到的。

[0074] 植被-土壤截留水源涵养量估算模型的公式为:

$$[0075] \quad \begin{aligned} V_{\max} &= CWS + CIS + SMS \\ &= F_C \times LAI \times H_{SV} + (0.085R_m - 0.1R_0) \times M + SMS \end{aligned} \quad (3);$$

$$[0076] \quad \begin{cases} Q_{WC} = V_{\max} & P_i \geq V_{\max} \\ Q_{WC} = P_i & P_i < V_{\max} \end{cases} \quad (4);$$

[0077] 式中: $V_{\max}$ 为森林最大截留能力,单位为mm;CWS为植被冠层截留量,单位为mm;CIS为枯枝落叶层截留量,单位为mm;SMS为土壤贮水量,单位为mm; $Q_{WC}$ 为植被-土壤截留水源涵养量,单位为mm; $P_i$ 为第*i*个月降水量数据,单位为mm。

[0078] 当第*i*个月降水量超过森林最大截留能力时,植被-土壤截留水源涵养量为森林最大截留能力,当第*i*个月降水量小于森林最大截留能力时,植被-土壤截留水源涵养量为第*i*个月降水量。

[0079] 步骤105:根据所述月降水量数据、所述月融雪量数据、所述月实际蒸散发数据以及所述研究区域的植被-土壤截留水源涵养量,结合已构建的水量平衡水源涵养量估算模型,计算研究区域的地表径流量;所述水量平衡水源涵养量估算模型是以水量的输入和输出为突破口,从水量平衡的角度,将月降水量数据与月融雪量数据的和,依次与月实际蒸散发数据、地表径流量作差后构建得到。

[0080] 水量平衡水源涵养量估算模型的公式为:

$$[0081] \quad Q_{WC} = Q_{SN} + P - E - R_{Surface} \quad (5);$$

[0082] 式中, $Q_{WC}$ 为植被-土壤截留水源涵养量,单位为mm; $P$ 为月降水量数据,单位为mm; $E$ 为月实际蒸散发数据,单位为mm; $R_{Surface}$ 为地表径流量,单位为mm; $Q_{SN}$ 为月融雪量数据,单位

为mm。

[0083] 融雪量数据来源于空间分辨率为 $0.125^{\circ} \times 0.125^{\circ}$ ，覆盖于全球的(60S,180W,90N,180E)月尺度融雪量数据的重采样。上述月尺度融雪量数据来源于NLDAS Noah Land Surface Model L4 Monthly 0.125 x 0.125数据集(网址：<https://mirador.gsfc.nasa.gov/>)。

[0084] 所述地表径流量的计算公式为：

$$R_{Surface} = Q_{SN} + P - E - Q_{WC} \quad (6);$$

$$= Q_{SN} + P - (E + F_C \times LAI \times H_{SV} + (0.085R_m - 0.1R_0) \times M + SMS)$$

[0086] 式中， $Q_{WC}$ 为植被-土壤截留水源涵养量，单位为mm；P为气候要素处理数据集中的月降水量数据，单位为mm；E为气候要素处理数据集中的月实际蒸散发数据，单位为mm； $R_{Surface}$ 为地表径流量，单位为mm； $Q_{SN}$ 为气候要素处理数据集中的月融雪量数据，单位为mm。

[0087] 为实现上述目的，本发明还提供了一种基于像元尺度的地表径流量估算系统，如图2所示，包括：

[0088] 气候要素原始遥感数据集获取模块201，用于获取研究区域的气候要素原始遥感数据集；所述气候要素原始遥感数据集包括月降水量数据、月实际蒸散发数据、月土壤含水量数据、月融雪量数据以及月尺度的土层厚度数据、植被归一化指数、植被覆盖度、叶面积指数等。

[0089] 预处理模块202，用于对所述气候要素原始遥感数据集中的数据进行预处理，得到研究区域的气候要素处理数据集；预处理的操作步骤依次包括格式转换、影像校正、裁剪、配准、质量检查和投影转换。

[0090] 相关因子计算模块203，用于根据所述气候要素原始遥感数据集，计算植被冠层截留量、枯枝落叶层截留量和土壤贮水量。

[0091] 研究区域植被-土壤截留水源涵养量计算模块204，用于根据所述植被冠层截留量、所述枯枝落叶层截留量、所述土壤贮水量以及所述月降水量数据，结合已构建的植被-土壤截留水源涵养量估算模型，计算研究区域的植被-土壤截留水源涵养量；所述植被-土壤截留水源涵养量估算模型是将植被冠层储水量、枯枝落叶层截留量和土壤贮水量计算累加，并与月降水量数据比较后构建得到的。

[0092] 研究区域地表径流量计算模块205，用于根据所述月降水量数据、所述月融雪量数据、所述月实际蒸散发数据以及所述研究区域的植被-土壤截留水源涵养量，结合已构建的水量平衡水源涵养量估算模型，计算研究区域的地表径流量；所述水量平衡水源涵养量估算模型是将月降水量数据与月融雪量数据的和，依次与月实际蒸散发数据、地表径流量作差后构建得到的。

[0093] 所述相关因子计算模块203，具体包括：

[0094] 植被冠层截留量计算单元，用于根据公式 $CWS = F_C \times LAI \times H_{SV}$ 计算植被冠层截留量；其中，CWS为植被冠层截留量，单位为mm； $H_{SV}$ 为叶面积平均最大持水深，单位为mm； $F_C$ 为气候要素处理数据集中的植被覆盖度；LAI为气候要素处理数据集中的叶面积指数。

[0095] 枯枝落叶层截留量计算单元，用于根据公式 $CIS = (0.085R_m - 0.1R_0) \times M$ 计算枯枝落叶层截留量；其中，CIS为枯枝落叶层截留量，单位为mm； $R_0$ 为植被平均自然含水率，单位为

g/kg;  $R_m$ 为植被最大持水率,单位为g/kg;  $M$ 为枯落物蓄积量,单位为t/hm<sup>2</sup>。

[0096] 土壤贮水量确定单元,用于将所述气候要素处理数据集中的月土壤水含量数据确定为土壤贮水量。

[0097] 所述研究区域植被-土壤截留水源涵养量计算模块204,具体包括:

[0098] 研究区域植被-土壤截留水源涵养量计算单元,用于将所述植被冠层截留量、所述枯枝落叶层截留量、所述土壤贮水量以及所述气候要素处理数据集中的月降水量数据输入到已构建的植被-土壤截留水源涵养量估算模型,计算研究区域的植被-土壤截留水源涵养量;其中,所述植被-土壤截留水源涵养量估算模型的公式为:

[0099]  $V_{\max} = CWS + CIS + SMS$ ;

$$[0100] \begin{cases} Q_{WC} = V_{\max} & P_i \geq V_{\max} \\ Q_{WC} = P_i & P_i < V_{\max} \end{cases};$$

[0101] 其中,  $V_{\max}$ 为森林最大截留能力,单位为mm;  $CWS$ 为植被冠层截留量,单位为mm;  $CIS$ 为枯枝落叶层截留量,单位为mm;  $SMS$ 为土壤贮水量,单位为mm;  $Q_{WC}$ 为植被-土壤截留水源涵养量,单位为mm;  $P_i$ 为第*i*个月降水量数据,单位为mm。

[0102] 所述研究区域地表径流量计算模块205,具体包括:

[0103] 研究区域地表径流量计算单元,用于将所述气候要素处理数据集中的月降水量数据、所述气候要素处理数据集中的月融雪量数据、所述气候要素处理数据集中的月实际蒸散发数据以及所述研究区域的植被-土壤截留水源涵养量输入到所述水量平衡水源涵养量估算模型,得到研究区域的地表径流量;其中,所述水量平衡水源涵养量估算模型的公式为:

[0104]  $Q_{WC} = Q_{SN} + P - E - R_{Surface}$ ;

[0105] 其中,  $Q_{WC}$ 为植被-土壤截留水源涵养量,单位为mm;  $P$ 为月降水量数据,单位为mm;  $E$ 为月实际蒸散发数据,单位为mm;  $R_{Surface}$ 为地表径流量,单位为mm;  $Q_{SN}$ 为月融雪量数据,单位为mm。

[0106] 所述研究区域的地表径流量的计算公式为

$$[0107] \begin{aligned} R_{Surface} &= Q_{SN} + P - E - Q_{WC} \\ &= Q_{SN} + P - (E + F_C \times LAI \times H_{SV} + (0.085R_m - 0.1R_0) \times M + SMS) \end{aligned};$$

[0108] 式中,  $Q_{WC}$ 为植被-土壤截留水源涵养量,单位为mm;  $P$ 为气候要素处理数据集中的月降水量数据,单位为mm;  $E$ 为气候要素处理数据集中的月实际蒸散发数据,单位为mm;  $R_{Surface}$ 为地表径流量,单位为mm;  $Q_{SN}$ 为气候要素处理数据集中的月融雪量数据,单位为mm。

[0109] 本发明提供了一种基于像元尺度的地表径流量估算方法及系统。首先,在植被-土壤截留水源涵养量估算模型中,舍弃了传统公式中用均值土层厚度与非毛管空隙度的乘积来计算土壤贮水量的方法,而利用土壤含水量遥感数据作为土壤贮水量,使结果更加准确,监测评估范围更加广阔。其次,通过植被-土壤截留水源涵养量估算模型和水量平衡水源涵养量估算模型联立推导出地表径流量计算公式,实现了基于像元尺度的空间化的地表径流量,突破了传统监测过程的局限性,提高了适用性区域空间尺度和精度,减小了监测难度,缩短了监测时间,为生态恢复过程中不同时空尺度地表水资源特征和植被恢复过程中生态

效应评估提供了新的技术参考和数据支撑。

[0110] 本说明书中各个实施例采用递进的方式描述,每个实施例重点说明的都是与其他实施例的不同之处,各个实施例之间相同相似部分互相参见即可。对于实施例公开的系统而言,由于其与实施例公开的方法相对应,所以描述的比较简单,相关之处参见方法部分说明即可。

[0111] 本文中应用了具体个例对本发明的原理及实施方式进行了阐述,以上实施例的说明只是用于帮助理解本发明的方法及其核心思想;同时,对于本领域的一般技术人员,依据本发明的思想,在具体实施方式及应用范围上均会有改变之处。综上所述,本说明书内容不应理解为对本发明的限制。

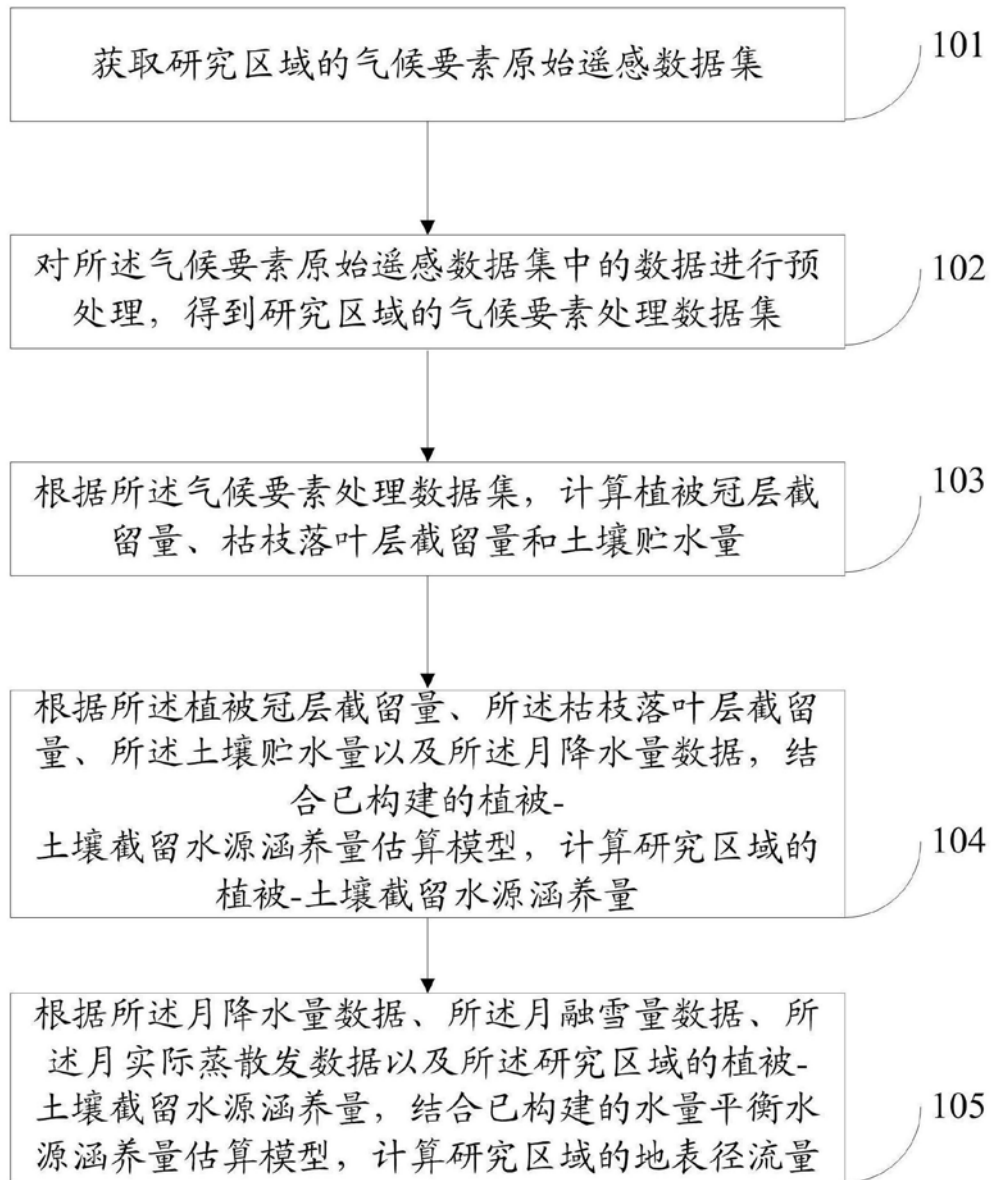


图1

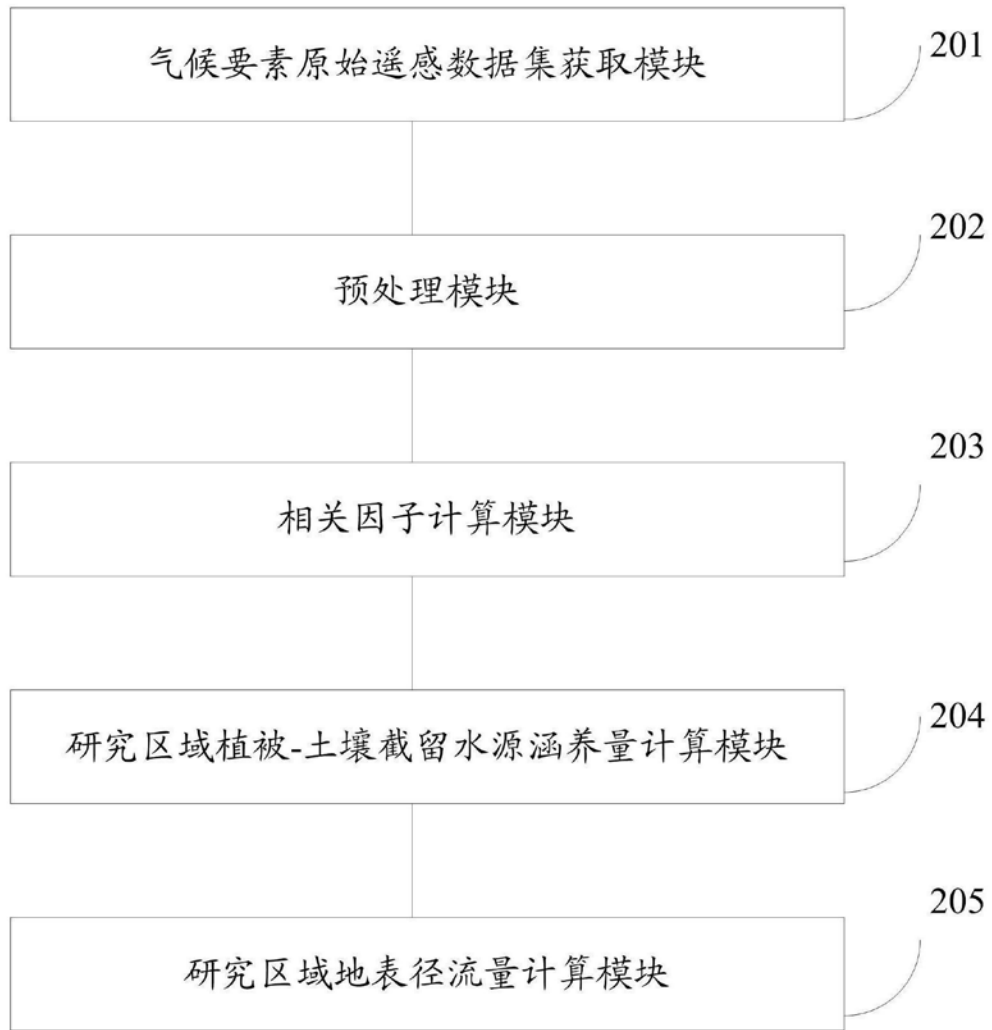


图2