

DOI:10.3880/j.issn.1004-6933.2021.03.010

泼河水库对黄河径流过程及水文情势的影响

张文浩¹, 瞿思敏¹, 徐 瑶², 石 朋¹

(1. 河海大学水文水资源学院, 江苏 南京 210098; 2. 江苏省水利科教中心, 江苏 南京 210003)

摘要:基于淮河流域潢川、淮滨两个水文站 1952—2012 年的日平均径流数据,采用滑动平均法和 Mann-Kendall 检验方法分析黄河径流年际变化,采用集中度、集中期、不均匀系数和极值比分析黄河径流年内分布变化,采用 IHA 法分析泼河水库建成前后黄河河道水文情势的变化。结果表明:泼河水库未对黄河年际径流变化趋势产生显著影响,而对黄河径流的年内分布影响则十分明显,年内分配趋于均匀化,流域生态系统的稳定性有所提升。

关键词:水文情势;径流;IHA 法;滑动平均法;Mann-Kendall 检验;泼河水库;潢河

中图分类号:TV121 **文献标志码:**A **文章编号:**1004-6933(2021)03-0061-05

Influence of Pohe Reservoir on runoff process and hydrological regime of Huanghe River // ZHANG Wenhao¹, QU Simin¹, XU Yao², SHI Peng¹ (1. College of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, China; 2. Jiangsu Water Science and Education Center, Nanjing 210003, China)

Abstract: Based on the daily average runoff data of Huangchuan and Huaibin hydrological stations in Huaihe River Basin from 1952 to 2012, the moving average method and Mann-Kendall test were used to analyze the interannual variation of Huanghe River runoff, the concentration degree, concentration period, non-uniformity coefficient and extreme value ratio were used to analyze the annual distribution variation of Huanghe River runoff, and the IHA method was used to analyze the change of Huanghe River hydrological regime before and after the construction of Pohe Reservoir. The results show that Pohe Reservoir has no significant impact on the interannual runoff variation trend of Huanghe River. However, Pohe Reservoir significantly influences the annual distribution of Huanghe River runoff, where in the annual distribution tends to be uniform and the stability of the watershed ecosystem has been improved.

Key words: hydrological regime; runoff; IHA method; moving average method; Mann-Kendall test; Pohe Reservoir; Huanghe River

淮河流域是我国七大流域之一,处于我国南北气候过渡带,在我国经济社会发展全局中占有十分重要的地位。淮河流域水利工程建设在 20 世纪 70—80 年代达到了顶峰,但自 20 世纪 70 年代以来,流域内出现了河流干涸、泥沙淤积、水污染事件频发等问题^[1-2],且淮河干流的洪水发生时间、频率、量级、过程、组合遭遇等特征都发生了明显的变化。这些问题与水利工程调控作用的关系以及如何定量评估其影响,是淮河流域综合治理中亟待解决的关键问题之一。

滑动平均法、Mann-Kendall 检验方法^[3-4]是当前年径流趋势变化分析较为成熟的方法,滑动平均法最为简单、直观,因而得到了广泛的应用^[5]。马聪

等^[6]采用 Mann-Kendall 秩次相关法分析了汉江 1970—2010 年径流变化,结果表明,安康水库建成运行后径流年最大、最小值以及多年平均径流量均呈下降趋势,径流年内、年际间差异减小,从而验证了水库建设对径流过程均匀化的显著影响。水利工程对年内径流分配的影响也是当前国内外探讨的一个热点^[7],涂新军等^[8]使用集中系数法分析了东江流域的径流年内分配特征,得出了东江径流的年内分配不受时段长取值影响的结论;Richter 等^[9]提出 IHA(indicators of hydrologic alteration)法用于研究人类活动对水文自然形势的影响,陈启慧等^[10]采用该方法研究了葛洲坝的建设对长江径流过程产生的影

基金项目:国家重点研发计划(2016YFC0402703, 2019YFC0409005, 2016YFA0601602)

作者简介:张文浩(1995—),男,硕士研究生,研究方向为水文预报。E-mail: maitian729@163.com

通信作者:石朋(1976—),男,教授,博士,主要从事流域水文模拟及地貌水文学研究。E-mail: ship@hhu.edu.cn

响,结果显示葛洲坝对河流的径流过程改变不大,但依然有一定的消峰坦化作用。

本文基于淮河流域支流潢河流域的潢川、干流的淮滨两个水文站相关数据,采用集中度与集中期等多种指标判断泼河水库修建对潢河下游河道径流年内分配的影响,采用 IHA 法评价泼河水库对其下游小流域生态环境产生的影响,以期为潢河流域综合治理提供参考。

1 研究区概况

潢河(又名小潢河)是淮河上游重要的支流,河段全长 140 km,流域面积 2400 km²,属亚热带湿润季风气候区。历史上潢河流域内的水旱灾害频繁,20 世纪 50 年代开始对潢河干流进行了治理,1970 年在其中游建了一座大型水库——泼河水库。

泼河水库位于大别山北麓,坐落在淮河流域潢河支流泼陂河上,水库控制流域面积 222 km²。水库以上多年平均降水量 1260 mm,降水主要集中在 7—8 月,汛期 6—9 月来水量占多年平均来水的 51.8%。大量且集中的降水容易造成严重的洪水灾害。水库多年平均径流深约为 772 mm,实测最大入库流量为 10 200 m³/s(1969 年 7 月)。

本文基于淮河水利委员会编撰的 1952—2012 年水文年鉴中泼河水库下游潢川、淮滨两个水文站的逐日降雨资料和逐日径流资料,分析泼河水库对下游径流及水文情势的影响。

2 研究方法

2.1 年际变化分析

采用滑动平均法和 Mann-Kendall 检验方法对潢川、淮滨两个水文站 1952—2012 年的日平均径流资料进行分析。

2.2 年内变化分析

a. 集中程度指标。以“月”为控制时段,可将一年内所有月份的径流量看作向量,月径流量的大小作为该月径流矢量的模,即径向距离;所在的月份(或日期)作为径流矢量的方向,用圆周(将圆周的度数 360°视作一年的 365 d,1 d 相当于 0.986 3°)方位来表示,将一年中各月径流矢量求和,合矢量模与年径流的比值为年径流集中度,合矢量方向为年径流集中期。集中度很好地表达了径流年内的非均匀分布特性,集中期则客观地反映了一年最大径流量出现的时间。

b. 不均匀性指标。常采用不均匀系数反映径流年内分配的不均匀性。不均匀系数为年内各时段平均流量的均方差与年平均流量的比值,与水文学

中常用的变差系数的内涵相当。

c. 变幅指标。采用极值比来反映径流年内分配的相对变化幅度^[11]。径流年内变化幅度的大小对于水利调节和水生生物的生长繁殖都有重要的影响。变化幅度越大表明水资源的开发利用难度相应越大,过于平稳或者过于激烈的变化幅度均为不利的水生生物生境,威胁河流生态安全。

2.3 IHA 法

IHA 法根据河流的日水文资料,计算影响生态环境意义的关键水文特征值,并计算它们年际的集中指标(如中位数、平均值)和离散指标(如范围、标准偏差、变异系数),以对人类活动干扰前、后的河流径流模式进行描述。IHA 法特别适用于有着长系列观测资料的河流分析对比人类的影响^[12]。

3 结果与分析

3.1 径流年际变化

图 1 为潢川站 1965—2012 年和淮滨站 1952—2005 年年平均流量及 5 年滑动平均曲线,表 1 为对两站资料进行 Mann-Kendall 检验分析的结果。

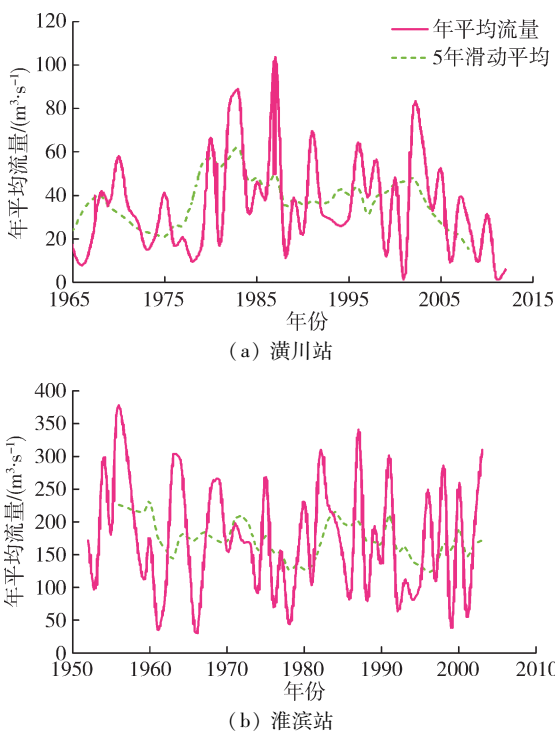


图 1 潢河径流年平均流量变化
Fig.1 Annual average flow variation of Huanghe River runoff

表 1 潢河年径流量 Mann-Kendall 检验结果
Table 1 Mann-Kendall test results of annual runoff of Huanghe River runoff

水文站	统计量	正态分布方差	正态变量
潢川站	73	15 158. 33	0. 560 433
淮滨站	93	21 489. 00	0. 627 595

如图 1 及表 1 所示,两站年径流变化趋势相似, Mann-Kendall 检验值均在 0.6 左右,年径流总体上均呈现一定的上升趋势,其中 1958—1963 年呈上升趋势,1964—1970 年呈下降趋势,1971—1980 年上升后总体上在较长一段时间内保持了较为规律的趋势波动。可见在泼河水库修建(1970 年)前后两站径流年际变化趋势并未发生明显的改变,说明泼河水库并未对流域的年径流产生较大影响。

3.2 径流年内变化

因淮滨站位于淮河干流,所测得的数据受到的扰动因素较多,本文仅对较具代表性的潢川站数据进行分析。潢川站 1955—2012 年径流指标分析结果见图 2~4,其变化特征值见表 2。

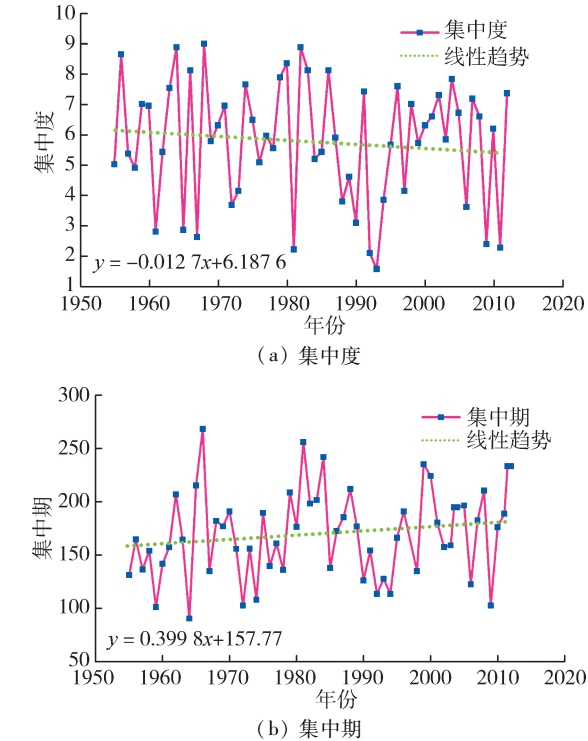


图 2 潢川站年径流集中度与集中期年际变化
Fig.2 Interannual variation of concentration degree and concentration period of annual runoff at Huangchuan Station

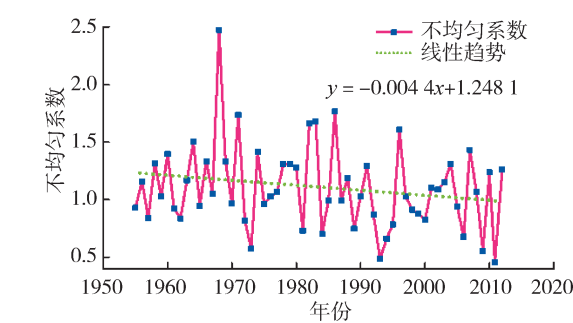


图 3 潢川站年径流不均匀系数年际变化
Fig.3 Interannual variation of nonuniformity coefficient of annual runoff at Huangchuan Station

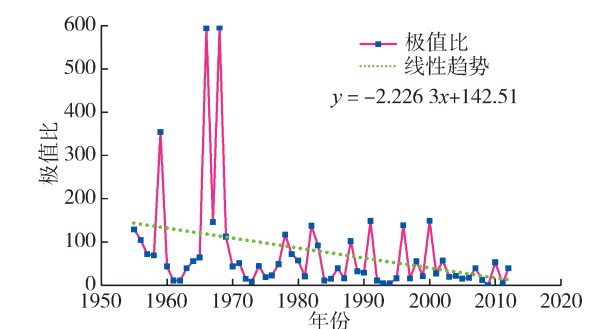


图 4 潢川站年径流极值比年际变化
Fig.4 Interannual variation of extremum of annual runoff at Huangchuan Station

表 2 潢川站年径流年内变化特征值
Table 2 Annual variation characteristic values of annual runoff at Huangchuan Station

年内分配特征指标	集中度	集中期	不均匀系数	极值比
均值	5.81	169.56	1.12	76.84
最大值	9.01	269.15	2.50	600.00
最小值	1.63	2.74	0.48	3.99

由表 2 可知,潢川站年径流集中度均值为 5.81,最大值与最小值相差明显,1952—2012 年总体呈下降趋势;集中期均值为 169.56,极值差异同样明显,与集中度的下降趋势相吻合;由图 3 和图 4 可直观看出,潢川站年径流不均匀系数和极值比多年下降趋势均较为明显。可见潢川站年径流趋向于均匀化。

3.3 IHA 法分析

为对比泼河水库修建前后潢河径流特性,以泼河水库建成的 1970 年为分界点,将 1955—2012 年水文序列划分为干扰前时段(1955—1970 年)和干扰后时段(1971—2012 年)。建库前的资料系列长度为 16 a,小于 IHA 法要求的 20 a,但在此认为大体上能反映出修建水库前的情况。

月均径流量计算结果见图 5,潢川建库后月均径流量分布明显趋于平滑,此变化将造成河道沿岸形态的转变,进而对原有的河流生态系统产生一定程度上的影响,宏观上提高了该流域的生态系统稳定性。

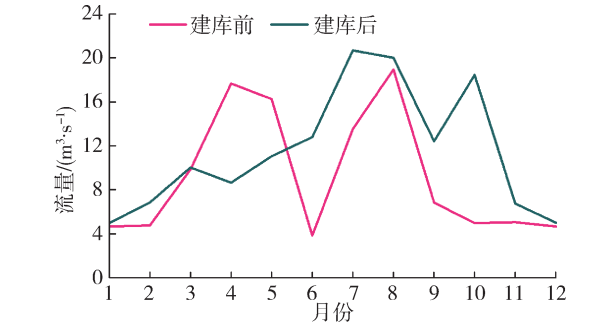


图 5 泼河水库建库前后潢川站月均径流量变化
Fig.5 Monthly average runoff variation at Huangchuan Station before and after the construction of Pohe Reservoir

不同持续时间下极值计算结果见表 3, 泼河水库建成后, 潢川站流量的多年平均极大值均减小, 下降了 30% 左右, 但其变异系数变幅不明显, 体现了水库的防洪效益; 潢川站流量的多年平均极小值均有所增大, 以 1 d 平均流量极小值最为明显, 增幅高达 191.2%, 且短历时极小值变化较长历时极小值变化更为显著。由此可见, 从泼河水库至潢河出口的河道(潢河下游段)受泼河水库调蓄影响巨大, 尤其提升了下游河道低水位界限, 提升了河岸生态系统的稳定性。

日流量极值发生时间计算结果见表 4, 水库运行后的极小值发生时间刻值从 205.5 下降到了 164, 提前了 22.68%, 而极大值发生时间刻值基本不变, 该结果可能对生物栖息以及鱼类的洄游产卵

产生较大的影响。虽然极小值出现时间发生显著变化, 但结合表 3 极值结果, 1 d 平均流量极小值的增大削减了径流极小值发生时所产生的负面影响。

高低脉冲计算结果见表 5, 扣除自然环境的影响因素外, 潢川径流的脉冲频率受泼河水库的调蓄影响是比较小的。高、低流量是河道径流的重要特征, 潢川站低脉冲次数的减少及其历时变短使得河道、河滩情况趋于稳定, 有利于该区间生态的健康发展。但是高流量平均历时的缩短又给河道及其沿岸的生态环境的发展注入了不确定性, 总体而言, 这种新的径流机制下, 也许会对沿岸的生物进化提供新的推动力。

水情变化率及变化次数计算结果见表 6, 可见建库后潢川站的径流上涨率年平均值小幅度下降,

表 3 不同持续时间下的流量极值计算结果
Table 3 Calculation results of flow extremum under different durations

参 数	均值			变异系数		
	建库前/($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	建库后/($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	偏离量/%	建库前	建库后	偏离量/%
1 d 平均流量极大值	955.50	603.00	36.89	0.89	1.19	33.45
1 d 平均流量极小值	0.29	0.83	191.20	4.00	1.54	61.57
3 d 平均流量极大值	618.70	410.30	33.67	1.02	1.10	8.36
3 d 平均流量极小值	50.68	53.89	6.33	1.27	1.25	1.58
7 d 平均流量极大值	342.90	217.10	36.68	1.16	1.48	27.61
7 d 平均流量极小值	0.53	1.26	140.20	3.13	1.56	50.35
30 d 平均流量极大值	116.60	100.30	14.02	1.30	1.25	3.40
30 d 平均流量极小值	1.48	2.93	97.98	1.74	0.91	47.73
90 d 平均流量极大值	1579.00	1485.00	5.954	1.57	1.17	25.69
90 d 平均流量极小值	66.86	54.19	18.94	1.26	1.17	7.76

表 4 日流量极值发生时间计算结果
Table 4 Calculation results of occurrence time of daily flow extremum

参 数	均值			变异系数		
	建库前	建库后	偏离量/%	建库前	建库后	偏离量/%
年最大日流量发生时间	194.0	193.0	0.55	0.10	0.18	81.08
年最小日流量发生时间	205.5	164.0	22.68	0.32	0.18	44.21

表 5 高低脉冲频率及持续时间计算结果
Table 5 Calculation results of high and low pulse frequency and time of duration

参 数	均值			变异系数		
	建库前	建库后	偏离量/%	建库前	建库后	偏离量/%
年高流量脉冲发生次数	9.0	10.0	11.11	0.50	0.80	60.00
年低流量脉冲发生次数	5.5	5.0	9.09	0.91	1.00	10.00
高流量脉冲平均历时	6.00 d	4.50 d	25.00	0.60	1.00	65.52
低流量脉冲平均历时	7.25 d	6.00 d	17.24	1.57	1.01	33.61

表 6 水情变化率及变化次数计算结果
Table 6 Calculation results of change rate and frequency of water regime

参 数	均值			变异系数		
	建库前	建库后	偏离量/%	建库前	建库后	偏离量/%
上涨率年平均值	1.72	1.44	15.99	1.22	1.71	40.67
下降率年平均值	-1.22	-1.07	12.35	-0.69	-1.48	114.90
变化次数	72	89	22.76	0.31	0.53	72.07

下降率小幅增大,变幅均在 10%左右。

综上所述,泼河水库的建成对下游的径流涨洪、落洪幅度及频率产生了积极的影响,起着一定的削峰坦化作用,可能影响鱼类的繁殖,优化近岸水生植物的生存环境,在较大时间尺度上对沿岸的生物物种更迭及种群优化提供了新的推动力。

4 结 论

a. 泼河水库的运行对于黄河径流量年际变化的趋势性影响不大,但其运行对径流年内变化产生了较大的影响。

b. 在自然条件下,因为气候等因素的变化,1955—2012 年的黄河径流量年内分配是趋于不均匀的。但建库后潢川站和淮滨站年径流的集中度、不均匀系数以及极值比均减小,说明由于水库对水资源的再分配作用使得下游径流年内分配均匀化。

c. 泼河水库的运行使得下游径流的上涨率与下降率、低脉冲次数以及平均历时发生改变,对下游径流起着一定的削峰坦化作用,同时水库的建成较为显著地改变了黄河径流的年内分配情况,可能对鱼类繁殖过程产生一定的影响,而水库发挥的坦化作用可能优化近岸水生植物的生存环境,在较大时间尺度上对沿岸的生物物种更迭及种群优化提供了新的推动力。

参考文献:

- [1] 程绪水,沈哲松. 沙颍河水利工程调度对改善淮河水质的影响分析[J]. 水资源保护,2004,20(4):25-27. (CHENG Xushui, SHEN Zhesong. Analysis of the impact of Shaying River water conservancy project regulation on improving the water quality of Huaihe River[J]. Water Resources Protection,2004,20(4):25-27. (in Chinese))
- [2] 谭炳卿,吴培任,宋国君. 论淮河流域水污染及其防治[J]. 水资源保护,2005,21(6):8-14. (TAN Bingqing, WU Peiren, SONG Guojun. Water pollution and control of the Huaihe River Basin[J]. Water Resources Protection, 2005,21(6):8-14. (in Chinese))
- [3] 汤洁,王宪泽,李青山,等. 第二松花江流域 1956—2006 年降水量时空变化特征分析[J]. 水资源保护,2011,27(6):14-18. (TANG Jie, WANG Xianze, LI Qingshan, et al. Temporal and spatial characteristics of precipitation over second tributary of Songhua River Basin from 1956 to 2006[J]. Water Resources Protection,2011,27(6):14-18. (in Chinese))
- [4] 方国华,丁紫玉,闻昕,等. 厄尔尼诺事件及其对我国夏季降水量时空分布的影响[J]. 河海大学学报(自然科学版),2017,45(6):481-488. (FANG Guohua, DING Ziyu, WEN Xin, et al. El Nino event and its impact on the

spatial and temporal distribution of summer precipitation in China [J]. Journal of Hohai University (Natural Sciences),2017,45(6):481-488. (in Chinese))

- [5] 王文圣,丁晶,金菊良. 随机水文学[M]. 北京:中国水利水电出版社,2008.
- [6] 马聪,鲁春霞,李亦秋,等. 安康水库下游径流演变及水库运行对径流影响分析[J]. 长江流域资源与环境,2013,22(11):1433-1439. (MA Cong, LU Chunxia, LI Yiqiu, et al. Runoff change in the lower reaches of Ankang Reservoir and the influence of Ankang Reservoir on its downstream [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin,2013,22(11):1433-1439. (in Chinese))
- [7] 陆志华,夏自强,于岚岚,等. 松花江干流中游段径流年内分配变化规律[J]. 河海大学学报(自然科学版),2012,40(1):63-69. (LU Zhihua, XIA Ziqiang, YU Lanlan, et al. Changes of annual runoff distribution in middle reaches of Songhua River [J]. Journal of Hohai University (Natural Sciences),2012,40(1):63-69. (in Chinese))
- [8] 涂新军,陈晓宏,张丽娟,等. 时段长取值变化下的径流年内分配特征研究[J]. 生态环境学报,2011,20(1):119-123. (TU Xinjun, CHEN Xiaohong, ZHANG Lijuan, et al. Annual distribution of streamflow with different identifications of time intervals [J]. Ecology and Environmental Sciences, 2011,20(1):119-123. (in Chinese))
- [9] RICHTER B D, BAUMGARTNER J V, POWELL J, et al. A method for assessing hydrologic alteration within ecosystems [J]. Conservation Biology, 1996, 10(4):1163-1174.
- [10] 陈启慧,郝振纯,夏自强,等. 葛洲坝对长江径流过程的影响[J]. 长江流域资源与环境,2006,15(4):522-526. (CHEN Qihui, HAO Zhenchun, XIA Ziqiang, et al. Effects of Gezhou Dam on the hydrologic regimes in Yangtze River [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2006,15(4):522-526. (in Chinese))
- [11] 李艳,陈晓宏,张鹏飞. 北江流域径流序列年内分配特征及其趋势分析[J]. 中山大学学报(自然科学版),2007,46(5):113-116. (LI Yan, CHEN Xiaohong, ZHANG Pengfei. Research on annual distribution and its trends of runoff in Beijiang River [J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni, 2007, 46(5):113-116. (in Chinese))
- [12] 薛联青,张卉,张洛晨,等. 基于改进 RVA 法的水利工程对塔里木河生态水文情势影响评估[J]. 河海大学学报(自然科学版),2017,45(3):189-196. (XUE Lianqing, ZHANG Hui, ZHANG Luochen, et al. Impact of water conservancy projects on eco-hydrological regime of Tarim River based on improved RVA method [J]. Journal of Hohai University (Natural Sciences),2017,45(3):189-196. (in Chinese))

(收稿日期:2020-07-11 编辑:熊水斌)