

DOI: 10. 20040/j. cnki. 1000-7709. 2023. 20221662

# 椒江流域长潭水库流域降雨多时间尺度演变分析

季梦婷<sup>a</sup>, 鲍玥颖<sup>a</sup>, 王思琦<sup>a</sup>, 阿依克力木·海拉提<sup>a</sup>, 张蓉蓉<sup>b,c</sup>, 江 鹏<sup>a,b,c</sup>

(河海大学 a. 水文水资源学院; b. 水文水资源与水利工程科学国家重点实验室;  
c. 全球变化与水循环国际合作联合实验室, 江苏 南京 210098)

**摘要:** 为探究椒江流域长潭水库流域降雨多时间尺度演变规律, 基于1960~2019年间的降雨资料划分独立降雨事件, 从降雨事件尺度、季节尺度、年趋势变化与年际年代际变化这四个角度探讨了降雨事件要素演变的规律。结果表明, 极端降雨事件雨强大、降雨历时长; 台风雨季较梅雨季节降雨历时短而雨强大, 且降雨分布变化更大; 梅雨季两站的降雨事件要素年趋势相近, 台风季两站的降雨历时与雨强年趋势存在显著差异; 两站梅雨季节的降雨事件要素对 El Nino 事件存在较好的响应, 而台风雨季 El Nino/PDO 一年降雨量异常偏小, 易发生干旱; El Nino/PDO 十年降雨量异常偏多, 易发生洪涝灾害。

**关键词:** 降雨事件; 降雨多时间尺度; 极端降雨; ENSO

**中图分类号:** P338; TV125

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1000-7709(2023)07-0004-04

## 1 概况

浙江省台州市椒江流域长潭水库区(图1)全年降雨时空分布不均, 山区降雨量较大, 年降雨分配极不均匀, 汛期、非汛期降雨量分别约占全年降雨的65%、35%。流域内降雨主要为春雨、梅雨和台风雨, 由于地处沿海, 台风所带来的暴雨是长潭水库区域特大暴雨的主要成因, 也是形成较大洪水的根本性因素。宁溪站与长潭水库站所在位置相近, 降雨特征基本一致, 且这两个站点均极具代表性, 两站结合可减少偶然性和降水资料缺损

带来的误差。以椒江流域长潭水库流域为例, 对比分析该地1960~2019年长达60年间梅雨季节与台风雨季降雨个数、降雨历时、平均降雨强度等降雨事件要素的特征, 探明该地降雨多时间尺度变化与 ENSO 等大尺度自然循环的联系。

## 2 数据与方法

### 2.1 研究数据

#### 2.1.1 雨量站资料

雨量站资料包括椒江流域长潭水库区的宁溪站和长潭水库站的降雨摘录表中的时段降雨数据(1960~2019年)。由于水文年鉴中1971、1972年降雨量数据缺损较多, 对研究成果的准确性影响较大, 故不包括1971、1972年降雨量数据, 其他年份数据完整, 可进行降雨时间序列统计计算。此外, 所选时段两站降雨摘录表中有大约5%的数据为累积降雨数据, 即3、6、8 h 等的总降雨量, 对于累积降雨数据, 采用平均分配到每小时的方法<sup>[1]</sup>得到每小时降雨数据, 此类降雨数据所占比例较小, 故不影响计算结果。

#### 2.1.2 ENSO 和 PDO 数据

为研究 ENSO 和 PDO 对长潭水库流域

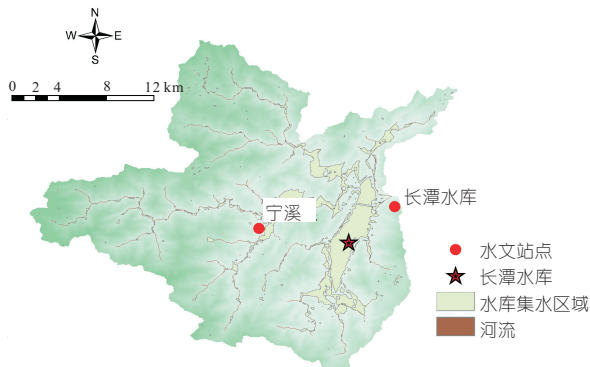


图1 长潭水库流域示意图

Fig. 1 Schematic diagram of Changtan Reservoir watershed

收稿日期: 2022-08-11, 修回日期: 2022-10-01

基金项目: 水文水资源与水利工程科学国家重点实验室开放基金面上项目(2021490911)

作者简介: 季梦婷(2001-), 女, 研究方向为水文水资源, E-mail: anjijimengting@163.com

通讯作者: 张蓉蓉(1985-), 女, 工程师, 研究方向为水文水资源, E-mail: 20200609@hhu.edu.cn

1960~2019 年降雨的影响,使用南方涛动指数(SOI)和 PDO 的月值作为评估降雨数据年际和年代际变化的基准,完成 ENSO 和 PDO 不同阶段的划分(表 1),用于计算 ENSO 和 PDO 不同状态下的多年平均降雨事件要素。

表 1 ENSO 和 PDO 气候状态资料

Tab. 1 ENSO and PDO climate state data

类型	状态	包含年	总年数
ENSO	Neutral	1963/1965/1969/1972/1982/1983/1987/ 1991/1992/1997/2002/2004/2009/2015/2019	15
	El Nino	1964/1970/1971/1973/1974/1975/1985/ 1988/1989/1995/1998/1999/2000/2007/ 2008/2010/2011/2016	18
	La Nina	1960/1961/1962/1966/1967/1968/1976/ 1977/1978/1979/1980/1981/1984/1986/ 1990/1993/1994/1996/2001/2003/2005/ 2006/2012/2013/2014/2017/2018	27
PDO	PDO-	1960~1976,1999~2002,2006~2013	29
	PDO+	1977~1998,2003~2005,2014~2019	31

## 2.2 研究方法

不同于降雨指数<sup>[2]</sup>研究降雨多时间尺度变化带来的不严谨性,本次研究引入降雨事件的概念。以长潭水库流域平均汇流时间(6 h)作为最短间雨期时长,构建独立降雨事件概念,针对流域气象站降雨时间序列,当降雨事件间隔长于最短间雨期,则认为两次降雨事件独立(图 2),从而得到降

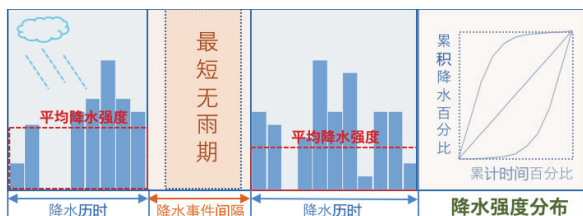


图 2 降水事件要素识别示意图

Fig. 2 Schematic diagram of rainfall event elements

雨历时(独立降雨事件历时,  $S_{SD}$ )、平均降雨强度(独立降雨事件的降雨总量/历时,  $S_{SI}$ )、降雨事件间隔(独立降雨事件间隔,  $I_{IP}$ )及事件内雨强分布。统计降雨要素( $S_{SD}$ 、 $S_{SI}$ 、 $I_{IP}$ )月平均数据  $S_{SD_{mean}}$ 、 $S_{SI_{mean}}$ 、 $I_{IP_{mean}}$ , 计算公式为:

$$S_{SD_{mean}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_{SD_i} \quad (1)$$

$$I_{IP_{mean}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I_{IP_i} \quad (2)$$

$$S_{SI_{mean}} = \frac{\sum_{i=1}^n S_{SD_i} S_{SI_i}}{\sum_{i=1}^n S_{SD_i}} \quad (3)$$

为比较不同级别雨量降雨事件的雨强分布特征,即描述不同雨量降雨事件的雨型,引用归一化累积降雨百分比曲线的概念,累积降雨百分比  $H$  为:

$$H(t^*) = \frac{1}{\langle i \rangle t_r} \int_0^{t^*} i(t') dt' \quad (4)$$

其中  $t^* = t/t_r$

式中,  $t^*$  为降水事件的平均降水强度,且  $0 \leq t^* \leq 1$ ;  $\langle i \rangle$  为降水事件的平均降水强度;  $t_r$  为降水事件的历时;  $i(t)$  为降水事件在  $t(0 \leq t \leq t_r)$  时刻的瞬时雨强。

雨型归一化累积曲线可直观看出不同雨型降雨累积量随时间变化情况(图 3),其中 10% 概率累积曲线代表降雨主要集中在降雨事件前期的情况,50% 概率累积曲线代表降雨较为均一的雨型,而 90% 概率累积曲线代表降雨主要集中在降雨事件后期的情况。雨型归一化累积曲线的使用消除了降水历时和深度的影响,使时间变化成为区分不同降雨模式的唯一因素。

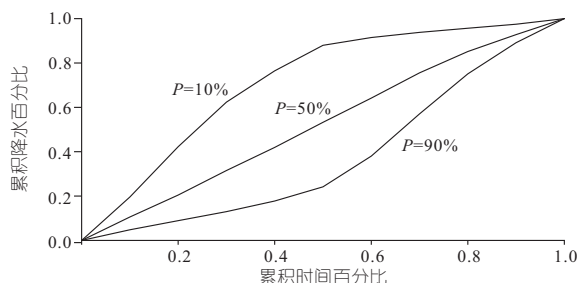


图 3 雨型归一化累积降水百分比曲线示意图

Fig. 3 Schematic diagram of normalized cumulative precipitation percentage curve of rain type

## 3 结果与分析

### 3.1 不同级别降雨事件的要素特征分析

以每场降雨的降雨量为划分依据,将降雨事件划分为小雨、中雨、大雨、暴雨、大暴雨及特大暴雨,统计不同等级的降雨事件平均降雨历时、强度和降雨事件个数,见表 2。由表 2 可知,1961~2019 年一次降雨事件的平均降雨历时和平均降雨强度随降雨等级的升高而增加,特大暴雨的平均降雨历时达 65.37 h,平均雨强为 5.12 mm/h;降雨事件个数随降雨事件等级的升高而减小。说明极端降雨发生频次虽然不大,但呈现雨强大且降雨历时长长的特点,给当地防洪工程造成很大压力。

表 2 不同等级降雨事件的降雨事件要素统计

Tab. 2 Statistical table of rainfall event elements of different grades of rainfall events

降雨强度等级划分	降雨事件	平均降雨历时/h	平均降雨强度/(mm·h <sup>-1</sup> )	降雨事件个数/次
小雨	<10	6.334	0.663 7	199 9
中雨	[10,25)	11.2	1.466	970
大雨	[25,50)	16.658	2.11	547
暴雨	[50,100)	25.58	2.67	283
大暴雨	[100,250)	47.67	3.15	86
特大暴雨	≥250	65.37	5.12	27

### 3.2 季节尺度降雨分布特征

#### 3.2.1 梅雨季与台风雨季降雨分布特征

从梅雨季与台风雨季多年平均降雨事件要素对比图(图 4)中可以看出,宁溪站与长潭水库站的间雨期历时、雨强和总雨量台风雨季均大于梅雨季,降雨历时和降雨事件个数台风雨季均小于梅雨季。与以往经验相符,台风雨季的降雨主要受热带气旋控制,呈现历时短、雨强大、总雨量大等特点,梅雨季则受准静止锋的影响呈现出降雨历时长但雨强偏小的现象<sup>[3]</sup>。

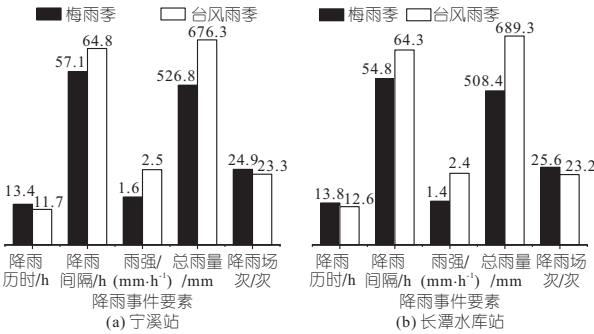


图 4 多年平均降雨事件要素统计图

Fig. 4 Statistical map of annual mean rainfall event elements

由雨型图(图 5)可以看出,台汛期降雨数据 10%和 90%归一化曲线的范围从整体上看比梅汛期降雨数据对应曲线的范围更宽,说明台汛期雨型的变化程度更大,这主要是由于受到热带气旋的影响降雨变化程度更深。

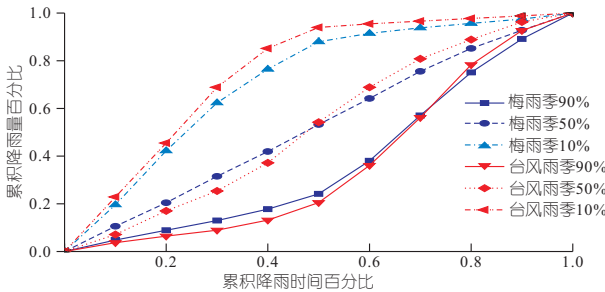


图 5 汛期与台汛期雨型归一化累积降雨百分比曲线

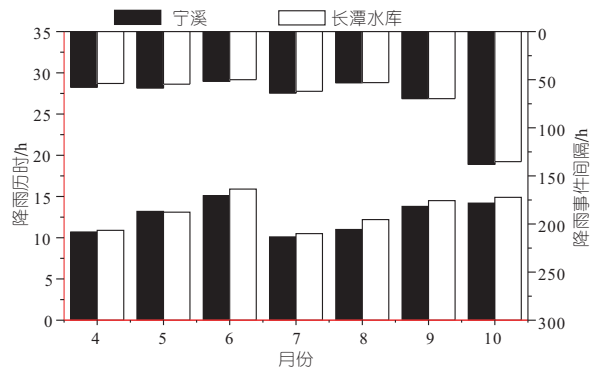
Fig. 5 Normalized cumulative rainfall percentage curve of rain type in flood season and Taiwan flood season

#### 3.2.2 月降雨要素特征分析

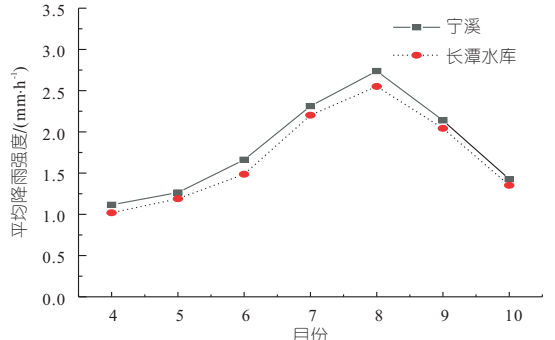
从图 6(a)来看,宁溪站和长潭水库站在 6~7 月间降雨历时明显下降。从月平均降雨强度统计图(图 6(b))可知,两站降雨事件强度在 4~8 月逐渐增强,在 8 月时雨强达到峰值。这主要是由于 4~6 月主要受江淮准静止锋的影响降雨历时长而雨强小,而 7~9 月正值台风雨季受台风影响降雨历时短而雨强大。

综合来看,台风雨季受热带气旋控制,相对于梅雨季降雨历时短而雨强较大,易发生极端降雨。

由雨型图(图 7)来看,7~9 月降水数据 10%



(a) 降雨历时与降雨事件间隔



(b) 平均降雨强度

图 6 月平均降雨事件要素统计图

Fig. 6 Statistical map of monthly mean rainfall event elements

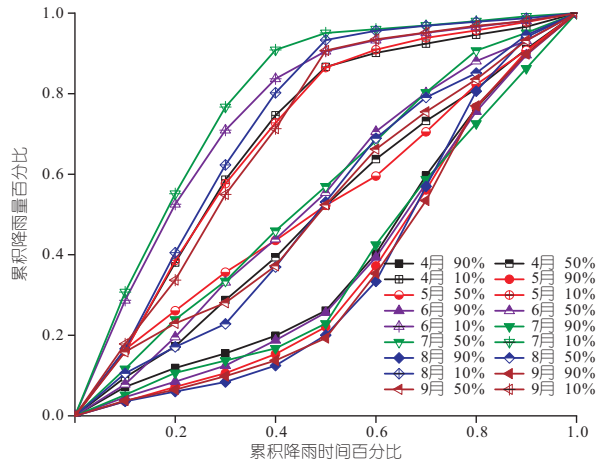


图 7 不同月份雨型归一化累积降水百分比曲线图

Fig. 7 Normalized cumulative precipitation percentage curves of rain types in different months

和 90%归一化曲线的范围从整体上看比 4~6 月降水数据对应曲线的范围更宽,这说明 7~9 月的降雨分布变化更大。这主要是由于 7~9 月属于台风雨季,受热带气旋影响所以降雨分布更不均匀。

### 3.3 降雨事件要素年趋势分析

由宁溪站梅雨季降雨事件要素的 MK 统计曲线图(图 8)可知,2004 年以前降雨历时不规则波动,雨强总体呈下降趋势。2004 年降雨历时突变性下降而雨强突变性上升。

根据长潭水库站梅雨季降雨事件要素的 MK 统计结果可得,1983 年前降雨历时呈下降上升交

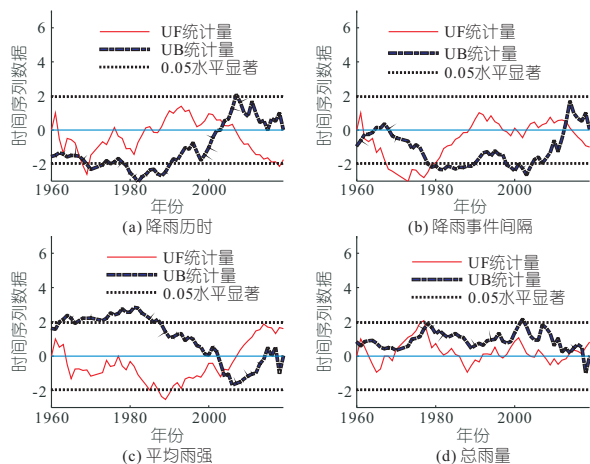


图 8 宁溪站梅雨季降雨事件要素 MK 统计曲线图  
Fig. 8 MK statistical curve of rainy season rainfall event elements at Ningxi Station

替趋势,雨强则一直呈下降趋势。1983~2007 年降雨历时呈上升趋势直到 2007 年发生突变性下降而雨强发生突变性上升。此后发生若干次突变,2018 年后稳定上升。降雨量分别在 1962~1966、1987~1992 年短暂下降,其余时间均呈上升趋势。

根据宁溪站台风雨季降雨事件要素的 MK 统计结果可得,降雨历时在 60 年以来总体呈下降趋势,其中 2005 年突变性下降。平均雨强 1995 年出现突变性增长。总雨量则在 1980 年发生突变性增加。

根据长潭水库站台风雨季降雨事件要素的 MK 统计结果可得,长潭水库台风雨季降雨历时在 1973~2012 年为上升趋势,其余时间为下降趋势,其中突变性下降出现在 2012 年。平均雨强 1993 年之前上升下降交替,1993 年之后呈上升趋势,2002 年为突变性上升。总雨量在 1960~1979 年呈下降趋势,1979 年发生突变性上升。

综上所述,梅雨季宁溪站和长潭水库站的降雨历时、雨强和总雨量总体变化趋势相近,台风雨季两站的降雨历时和雨强变化趋势有较大差异而总雨量变化趋势相似。

### 3.4 降雨事件要素年际与年代际变化特征分析

由不同气候状态下降雨事件要素统计图(图 9)可知,梅雨季 El Nino/PDO- 与 El Nino/PDO+ 的降雨历时显著大于其他气候状态而降雨事件间隔及雨强明显小于其他气候状态。这主要是由于研究区域厄尔尼诺年处于西太平洋副热带高压控制下,同时与之相联系的东南季风会输送部分水汽进而造成降水持续时间较长。但由于水汽主要由副热带印度洋蒸发的一部分水汽通过阿拉伯海和孟加拉湾向中国东部沿海部分地区输送,中国

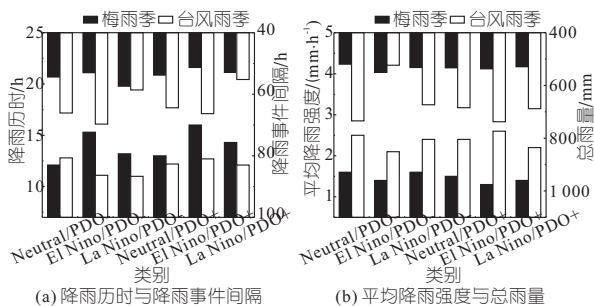


图 9 不同气候状态下降雨事件要素统计图  
Fig. 9 Statistical map of rainfall event elements under different climate states

大陆水汽输送条件整体较弱,中国大部分地区净水汽收支均偏少,不利于大范围降水的发生<sup>[4]</sup>,因此平均雨强会弱于其他气候条件。

台风雨季 El Nino/PDO- 的总雨量明显小于其他气候状态但 El Nino/PDO+ 总雨量最大,这主要由于降雨量常与厄尔尼诺事件强度存在明显负相关关系,即厄尔尼诺事件增强时降水量下降。而当 PDO 和 ENSO 同时处于正位相时,利于该区域降水偏多<sup>[5]</sup>。

## 4 结论

a. 台风雨季降雨受热带气旋控制,相比梅汛期,降雨事件内分配变化更大,降雨年趋势变化地域差异性更明显。

b. El Nino 年的梅雨季特征显著;台风雨季 El Nino/PDO- 年降雨量异常偏小,易发生干旱,El Nino/PDO+ 年降雨量异常偏多,应注意防洪安全。

### 参考文献:

[1] SAMUEL J M, SIVAPALAN M. A comparative modeling analysis of multiscale temporal variability of rainfall in Australia[J]. Water resource. res., 2008,44(7): W07401.  
[2] 刘慕嘉,杨秀芹,姚飞,等. 1961~2020 年中国洪水—热浪复合极端事件时空变化特征[J]. 中国农村水利水电,2023(4):167-176.  
[3] 魏薇,金荣花,肖天贵,等. 江淮梅雨季副高特征及降水特征分析[J]. 成都信息工程大学学报,2022,37(1):103-110.  
[4] 吴萍,丁一汇,柳艳菊. 厄尔尼诺事件对中国夏季水汽输送和降水分布影响的新研究[J]. 气象学报,2017,75(3):371-383.  
[5] 秦润天,朱益民,钱景,等. 冬季北太平洋多尺度水汽输送和大气河的变化特征及其与 PDO 和 ENSO 的联系[J]. 气象科学,2021,41(1):1-12.

深淹水胁迫作用下外形变化特征及植株存活数量,后期将研究植物在淹水胁迫下的光合效率、呼吸作用、激素水平、能量转换、营养元素等生理生化反应。

参考文献:

[1] LIN K , WENG C C , LO H F , et al. Study of the root antioxidative system of tomatoes and eggplants under waterlogged conditions [J]. Plant science, 2004, 167(2):355-366.

[2] 陈芳清, 谢宗强. 濒危植物疏花水柏枝对模拟夏季水淹的生理生化响应[J]. 热带亚热带植物学报,

2009, 17(3):249-253.

[3] 陈芳清, 谢宗强. 三峡库区濒危植物疏花水柏枝的生理生化特性研究[J]. 广西植物, 2008, 28(3): 367-372.

[4] 魏和平, 利容千. 淹水对玉米不定根形态结构和 ATP 酶活性的影响[J]. 植物生态学报, 2000, 24 (3):293-297.

[5] 赵珊珊, 沈顺锋, 王亚玲, 等. 26 种木莲属植物的园林观赏价值评价[J]. 广东园林, 2013, 35(4): 66-70.

[6] 刘新聆. 水生植物在城市滨水区景观绿化中的应用 [J]. 中国农村水利水电, 2008(6):96-98.

### Study on Survival Rate and Applicability of Floodplain Plants in the Lower Reaches of the Three Gorges Dam Area Under Flooded Environment

ZHANG Ding-jun<sup>1</sup>, WU Liu-dong<sup>2</sup>, LI Hao<sup>1</sup>, YANG Lan-fang<sup>1</sup>, ZHANG Jun<sup>1</sup>

(1. Yangtze River Institute of Rare Plants, Yangtze River Ecological Environment Engineering Research Center, China Three Gorges Corporation, Yichang 443000, China; 2. CSCEC Southwest Survey, Design and Research Institute Co., Ltd. Huazhong Company, Wuhan 430074, China)

**Abstract:** In order to research the growth adaptability and engineering applicability plants in the floodplain ecological restoration area in the lower reaches of the Three Gorges dam area under flooded environment, four kinds of shrub plants such as distylium chinense, myricaria laxiflora, salix variegata and rosa sp were planted and observed in the floodplain area at the same water level in the lower reaches of the Three Gorges dam area. Four shrub plants experienced a certain degree of flooding period. The results show that the survival rates of the four shrub plants were different under flooding conditions, and the plant preservation rates from high to low were as follows: salix variegata, distylium chinense, myricaria laxiflora and rosa sp. The morphological changes, plant height growth and recovery growth were observed. Among them, salix variegata, distylium chinense and myricaria laxiflora showed better flooding adaptability under flooding stress. The applicability of ecological restoration engineering of 4 Shrub plants was evaluated by weighted scoring method. The scores from high to low are distylium chinense, myricaria laxiflora, rosa sp and myricaria laxiflora. It is determined that distylium chinense can be used as the main shrub plant in the floodplain ecological restoration project.

**Key words:** Three Gorges dam area; river flat; flooding stress; shrubs and plants; weighted scoring method; ecological restoration engineering

\*\*\*\*\*  
(上接第 7 页)

### Multi-time Scale Evolution Analysis of Rainfall in Changtan Reservoir of Jiaojiang River Basin

JI Meng-ting<sup>a</sup>, BAO Yue-ying<sup>a</sup>, WANG Si-qi<sup>a</sup>, AIYIKELIMU Hailati<sup>a</sup>, ZHANG Rong-rong<sup>b,c</sup>, JIANG Peng<sup>a,b,c</sup>  
(a. College of Hydrology and Water Resources; b. State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering; c. Joint International Research Laboratory of Global Change and Water Cycle, Hohai University, Nanjing 210098, China)

**Abstract:** In order to explore the evolution of rainfall at multiple time scales, this paper takes the Changtan Reservoir in Jiaojiang River Basin as an example and classifies independent rainfall events based on rainfall data from 1960 to 2019. The evolution of rainfall event elements is discussed from four perspectives of rainfall event scale, seasonal scale, changes in annual trends and interannual decadal change. The results show that the extreme rainfall events has strong rainfall and long rainfall duration; The rainfall duration of typhoon rainy season is shorter and the rainfall intensity is greater than that of the plum rainy season, and the variation of rainfall distribution is greater; The annual trends of rainfall event elements are similar between the two stations during the plum rainy season, but the annual trends of rainfall duration and rainfall intensity are significantly different between the two stations during the typhoon rainy season; The rainfall events of the two stations in the plum rainy season have a good response to El Nino events, while the annual rainfall of El Nino/PDO- in the typhoon rainy season is abnormally small, which is prone to drought. El Nino/PDO+ annual rainfall is abnormally high and is prone to appear flood disaster .

**Key words:** rainfall events; multiple time scales of rainfall; extreme rainfall; ENSO