

张骥,刘艳群,朱学超,等. 雷州半岛水分条件变化特征及其与作物布局调整的相关分析[J]. 气象研究与应用,2021,42(2):35–40.  
Zhang Ji,Liu Yanqun,Zhu Xuechao,et al. Variation characteristics of water condition and its correlation with crop distribution adjustment in Leizhou Peninsula[J]. Journal of Meteorological Research and Application,2021,42(2):35–40.

## 雷州半岛水分条件变化特征及其与作物布局调整的相关分析

张 骥<sup>1</sup>, 刘艳群<sup>2\*</sup>, 朱学超<sup>3</sup>, 张 羽<sup>4</sup>, 植石群<sup>4</sup>, 于 洲<sup>5</sup>

(1.鹤山市气象局, 广东 鹤山 529700; 2.韶关市气象局, 广东 韶关 512026;

3.临沂市气象局, 山东 临沂 276004; 4.气候中心, 广州 510640;

5.湛江市气象局, 广东 湛江 524000)

**摘要:** 基于雷州半岛气象资料 and 主要农作物种植面积数据,利用气候倾向率、Mann-Kendall 气候突变检验、相关分析、11 种模型拟合和回归分析等方法,分析雷州半岛降水和蒸发量的气候变化特点,研究降水和蒸发与雷州半岛作物布局调整变化的相关关系。结果表明,1961 年至 2001 年雷州半岛总体南旱北涝,年降水日数和年降水量均北多南少并且先增后减。年蒸发量南多北少并且呈显著下降趋势。年降水日数与水稻面积显著正相关,与蔬菜、水果、糖蔗面积显著负相关。蒸发量与糖蔗、蔬菜、水果面积显著负相关。

**关键词:** 雷州半岛;降水;蒸发;作物布局;相关性

**中图分类号:** P412.13 **文献标识码:** A **doi:** 10.19849/j.cnki.CN45-1356/P.2021.2.07

**OSID:**



### 引言

人类农业耕作活动既受气候影响,又通过不断改变土地和水的利用,包括调整农业种植结构等活动来改变地表植被覆盖状况,从而改变地表物理特性以及地—气之间热量与水分的交换,对气候产生影响<sup>[1-2]</sup>。关于植被覆盖、作物种植布局受气候及其变化影响的研究很多<sup>[3-6]</sup>,开展植被及其演变对区域或局地气候(或温度、降水和蒸发等气候要素)影响的观测和模拟研究亦不少<sup>[7-18]</sup>,其中陈怀亮等<sup>[8]</sup>研究指出,黄淮海地区大范围城镇化和农田化进程,均造成了气候及水资源要素的变化,使得生态环境趋于恶化;朱晗晖等<sup>[15]</sup>研究结果显示,当地表粗糙度增加(减小)时,交错带相应地区及附近地区温度升高(降低),降水量差值增加(减少)。

雷州半岛地处中国大陆最南端,热量资源丰富,

土地资源种类繁多,是广东省乃至全国剑麻、橡胶等多种产品重要生产基地<sup>[19]</sup>,但雷州半岛又是广东省干旱灾害较为严重的区域<sup>[20]</sup>,随着全球气候变化的加剧,其干旱特别是冬春连旱加剧趋势显著<sup>[21-22]</sup>,势必会制约农业经济的发展。基于气候与人类活动互相影响的考虑,为了合理开发利用雷州半岛水分气候资源,科学布局作物种植区域和比例,有必要对雷州半岛地区作物布局调整与当地降水、蒸发关系进行研究。本文在参考前人<sup>[23]</sup>有关研究方法和思路的基础上,基于雷州半岛作物调整明显期的 1961—2001 年降水量和蒸发量资料及主要农作物种植面积资料,着重分析雷州半岛降水与蒸发变化特征,以及雷州半岛农作物布局调整与其变化之间的关系,探明两者的响应规律,为科学防旱抗旱解决水资源短缺问题,实现农业经济与气候环境协调发展提供一定的基础理论依据。

收稿日期: 2021-02-26

基金项目: 广东省自然科学基金-重大基础研究培育项目(2015A030308014)、广东省促进经济高质量发展专项资金海洋经济发展项目(GDOE[2019]A11)

作者简介: 张骥(1993—),男,学士,助理工程师,主要从事应用气象工作。E-mail: 2497409093@qq.com

\* 通讯作者: 刘艳群(1974—),女,硕士,高级工程师,主要从事天气预报和应用气象工作。E-mail: 596120124@qq.com

## 1 资料和方法

### 1.1 资料来源

1961—2001 年徐闻、雷州、湛江、遂溪和廉江五个气象观测站逐日降水量和蒸发量资料,以及同期水稻、糖蔗、花生、蔬菜和水果等作物种植面积资料。

### 1.2 雷州半岛农作物种植基本情况

雷州半岛面积  $1.247 \times 10^6 \text{ km}^2$ , 耕地面积  $4.9 \times 10^5 \text{ km}^2$ 。雷州半岛主要农作物有粮食作物、糖蔗、花生、蔬菜和水果。粮食作物以早晚稻为主,水稻种植面积先增后减,从 1960 年  $2.453 \times 10^5 \text{ km}^2$  开始逐年增长,1976 年种植面积最大,达到  $3.487 \times 10^5 \text{ km}^2$ ,到 2002 年,又减少到  $2.153 \times 10^5 \text{ km}^2$ 。糖蔗种植面积各年有所波动,从 1962 年  $1.13 \times 10^4 \text{ km}^2$  开始逐年增长,90 年代中期种植面积最大,达  $1.467 \times 10^5 \text{ km}^2$  左右,到 2002 年,又减少到  $1.12 \times 10^5 \text{ km}^2$ 。花生种植面积波动较大,多的年份达  $5.4 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,少的年份为  $2.13 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。蔬菜种植面积呈逐年增长趋势,从 60 年代初  $1 \times 10^4 \text{ km}^2$  左右增长到 2002 年  $1.047 \times 10^5 \text{ km}^2$ 。水果以南亚热带水果和多年生果树为主,种植面积从 60 年代初  $1.3 \times 10^3 \text{ km}^2$  左右增长到 2002 年  $8.6 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。

### 1.3 分析方法

首先用气候倾向率、Mann-Kendall 气候突变检验等气候统计学方法,分析雷州半岛降水和蒸发的变化特征;然后分别分析徐闻等五个站平均雨日、降水量、蒸发量与水稻、糖蔗、花生、蔬菜和水果种植面积的相关性,选取通过显著性检验的两组变量,用线性模型、二次模型、对数模型、S 型模型、生长模型、复合模型、三次模型、逆模型、幂模型、指数模型、logistic 模型等 11 种模型对其分别进行拟合,选择决定系数  $R^2$  最大的模型建立最优拟合方程;最后选取与徐闻等五个站平均雨日、降水量、蒸发量显著相关的农作物种植面积分别建立回归方程,以探讨农作物种植面积与降水、蒸发的相关关系。

## 2 结果与分析

### 2.1 雷州半岛降水、蒸发变化特征

#### 2.1.1 雷州半岛降水变化特征

##### (1) 雷州半岛降水日数变化特征

雷州半岛年平均降水日数为 144.9d,北部多,南部少,遂溪 154.8d,徐闻仅 133.8d;年降水日数极大值出现在 1973—1975 年;年降水日数极小值出现在 90 年代。各地年降水日数年际变化大,总体呈先增

后减的趋势,遂溪和徐闻呈明显减少的线性趋势,其线性递减率分别为  $-0.6613 \text{ d} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$  和  $-0.8383 \text{ d} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$ ,相关系数分别为 0.41 和 0.44,均通过 0.01 信度的显著性检验,其余各站没有明显的线性变化趋势。对各站逐年降水日数进行 Mann-Kendall 突变分析,前期均呈增多趋势,70 年代中期均显著偏多,通过 0.05 信度的显著性水平;廉江和湛江分别在 1963 年和 1964 年出现突变;80 年代各站先后呈减少趋势,除了湛江外,其余各站先后出现雨日由偏多转偏少的突变,徐闻和遂溪雨日分别在 1993 年和 2000 年以后显著偏少,通过 0.05 信度的显著性水平。

#### 2.1.2 雷州半岛降水量变化特征

雷州半岛年平均降水量为 1664.8mm,也是呈现北多南少特征,徐闻最少 (1384.7mm),廉江最多 (1801.6mm)。年降水量极大值 (3741.7mm, 1962 年) 和极小值 (929.7mm, 1977 年) 均在廉江。各站年降水量年际变化大,但均没有通过线性趋势的显著性检验,70 年代到 80 年代前期为多雨期,总体呈现先增后减的变化趋势。用 Mann-Kendall 方法对五个站的逐年降水量进行分析,除徐闻外,其余 4 个站点均在 60 年代出现了降水量由偏少转偏多的突变点,湛江的突变点在 1969 年,其余 3 个站点出现在 60 年代初期,雷州和遂溪 90 年代后期出现了降水量由偏多转为偏少的突变。

### 2.2 雷州半岛蒸发量变化特征

雷州半岛年平均蒸发量为 1735.0mm,与降水量相反,蒸发量呈南多北少的特征,徐闻年均蒸发量为 1847.4mm,廉江年均蒸发量为 1639.3mm。年际变化呈明显减少的线性趋势(图 1),相关系数高达 0.67,除雷州外,其余各站通过了 0.001 信度的显著性检验。

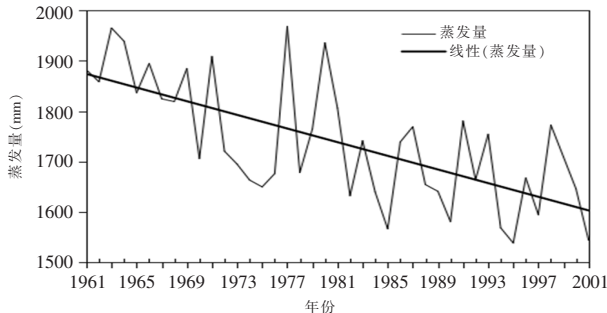


图 1 雷州半岛平均蒸发量年际变化图

用 Mann-Kendall 方法对五个站的逐年蒸发量进行分析,各站均出现了由偏多转偏少的突变点,湛江和遂溪的突变点出现在 80 年代前期,在 80 年代

末期、90 年代初期至 2001 年显著偏少;廉江和徐闻的蒸发量从 1974 年开始一直处于显著偏少的水平,其突变点分别出现在 70 年代末期和初期,雷州的蒸发量由偏多转偏少的突变点出现在 60 年代前期,仅在 70 年代中后期偏少超过  $\alpha=0.05$  显著性水平。可见,除雷州外,雷州半岛各地的蒸发量从 70 年代开始先后明显减少。

雷州半岛年平均蒸发量高于降水量 70.2mm,其中湛江和遂溪年蒸发量和年降水量基本持平,廉江降水量略多于蒸发量,雷州和徐闻则是蒸发量多于降水量,尤其徐闻年蒸发量大于年降水量近 500mm,因此雷州半岛干旱相当严重,尤其是南部地区。由于降水、蒸发时空分布不均匀,雷州半岛总体呈现冬春旱夏秋涝、南旱北涝的局势。

### 3 雷州半岛农作物布局调整对降水、蒸发可能影响分析

#### 3.1 农作物布局调整对降水可能影响分析

对雷州半岛年降水日数与主要农作物水稻、糖蔗、花生、蔬菜和水果种植面积进行相关分析(表 1),除花生外,其余作物种植面积均与年降水日数呈显著相关,水稻种植面积与年降水日数相关系数最大,呈明显的正相关。

表 1 雷州半岛年降水日数和农作物种植面积的相关系数

| 农作物 | 年降水日数  |                | 年蒸发量   |                |
|-----|--------|----------------|--------|----------------|
|     | 相关系数   | 显著性水平<br>(P 值) | 相关系数   | 显著性水平<br>(P 值) |
| 水稻  | 0.636  | 0.01           | 0.254  | 0.3            |
| 糖蔗  | -0.388 | 0.05           | -0.628 | 0.01           |
| 花生  | 0.197  | 0.21           | -0.195 | 0.25           |
| 蔬菜  | -0.442 | 0.01           | -0.52  | 0.01           |
| 水果  | -0.448 | 0.01           | -0.536 | 0.01           |

进行回归分析时,将因变量 Y 的总平方和中,由自变量 X 的平方和所占的比例称为决定系数,记为  $R^2$ ,其大小决定了相关的密切程度, $R^2$  越接近 1,方程式参考价值越高。用 11 种模型分别对雷州半岛水稻种植面积和年降水日数的关系进行拟合,发现二次模型为最优模型,决定系数  $R^2$  为 0.43,建立拟合方程为:

$$Y=165.2-3.764X+0.1104X^2$$

(1)

其中 X 是水稻种植面积,Y 是年降水日数。

根据拟合方程绘制的模型拟合图(图 2)可知,随着水稻种植面积增加,年降水日数总体趋势是增加的。这可能由于水稻生长发育过程中,在晒田前以灌水管管理为主,随着水稻种植面积的增加,水稻田因水汽蒸发增大,从而为降水的形成提供有利的水汽条件,使得雨日增加;在晒田后,由于水稻中的辐射、风速、风脉动和湍流交换状况比高秆作物更利于其冠层表面温度升高,易触发空中不稳定能量的释放,造成层结不稳定产生降水<sup>[23]</sup>。

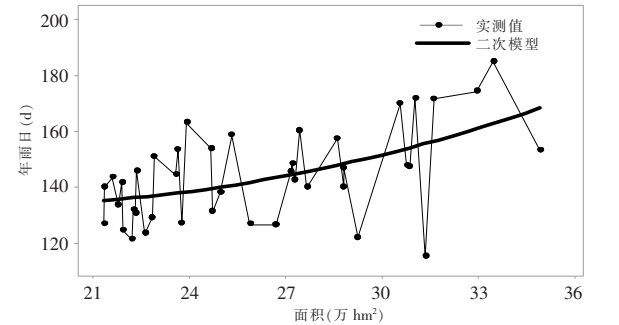


图 2 雷州半岛水稻面积和年降水日数模型拟合图

糖蔗、水果、蔬菜种植面积在雷州半岛变化很大,总体呈上升趋势,与雷州半岛降水日数呈显著的负相关。尤其在 70 年代中期后,随着糖蔗、水果、蔬菜种植面积增大,年降水日数总体趋势逐渐减少。这可能是由于随着糖蔗不断长高和植枝变密,而水果植枝普遍较高,树冠较大,较高植被中的辐射、风速、风脉动和湍流交换状况不利于植被冠层温度的升高,不易造成不稳定层结,从而不利于产生降雨天气<sup>[23]</sup>。同时雷州半岛的蔬菜多是利用冬季闲田种植,在白天,有植被覆盖的地面不如裸地升温快,从而不利于冬初、春末产生降水。花生种植面积占耕地面积比例较小,且没有明显的年际变化规律,同时由于花生经常与其他坡地作物轮种,对下垫面的性质改变不大,因此年降水日数和花生种植面积没有显著相关。

选取与降水日数相关性显著的水稻、糖蔗、蔬菜和水果的种植面积作为因子,雷州半岛年降水日数作为因变量,建立回归分析方程:

$$Y=69.311+2.675X_1-1.194X_2-0.989X_3-0.517X_4$$

(2)

其中  $X_1$  为水稻种植面积, $X_2$  为糖蔗种植面积, $X_3$  为蔬菜种植面积, $X_4$  为水果种植面积,Y 为年降水日数。回归方程的决定系数  $R^2$  为 0.416。标准回归系数与决定系数所代表的意义不同,是指消除了因变量 Y 和自变量 X 所取单位的影响之后的回归系数,我们用其绝对值的大小反映自变量 X 对因变量



Y 的影响程度,数值越大,影响越显著。水稻、糖蔗、蔬菜和水果的种植面积标准回归系数分别为 0.626、-0.289、-0.226 和 -0.082,可见对雷州半岛年降水日数可能影响从大到小依次为水稻、糖蔗、蔬菜和水果的种植面积。

雷州半岛农作物布局调整对降水的影响可能主要是通过影响午后阵雨和雷阵雨进而影响降水日数,由于午后(雷)阵雨降水量不大,分布极不均匀,对雷州半岛平均年降水量贡献不大,因而雷州半岛主要农作物水稻、糖蔗、花生、蔬菜和水果种植面积与年降水量相关关系不显著,半岛平均年降水量主要受气候背景和天气系统影响。

### 3.2 雷州半岛农作物布局调整对蒸发量可能影响分析

对雷州半岛年蒸发量与主要农作物水稻、糖蔗、花生、蔬菜和水果种植面积进行相关分析,相关系数分别为 0.254、-0.628、-0.195、-0.520 和 -0.536,其中年蒸发量与糖蔗、蔬菜、水果种植面积在 0.01 水平下呈显著负相关关系,这表明雷州半岛糖蔗、水果、蔬菜种植面积总体变化趋势与蒸发量的变化趋势相反,与水稻、花生种植面积达不到显著相关关系。

用 11 种模型分别对雷州半岛糖蔗种植面积和年蒸发量的关系进行拟合,结果表明糖蔗种植面积与年蒸发量的三次拟合模型决定系数  $R^2$  最高,为 0.435,是最优拟合模型,从图 3a 可见,随着糖蔗种

植面积的加大,蒸发量总体趋势是减少的,拟合方程为:

$$Y=2061-97.77X+7.308X^2-0.170X^3 \quad (3)$$

Y 为年蒸发量,X 为糖蔗种植面积。

水果种植面积与年蒸发量是对数模型最优,决定系数  $R^2$  为 0.392,从图 5b 可见,随着水果种植面积的加大,蒸发量是减少的,拟合方程为:

$$Y=1757.565+64.379\text{LOG}(X) \quad (4)$$

Y 为年蒸发量,X 为水果种植面积。

蔬菜的 S 型模型最优,决定系数  $R^2$  为 0.322,从图 5c 可见,随着蔬菜种植面积的加大,蒸发量总体趋势也是减少的,拟合方程为:

$$Y=e^{(7.3945+0.1157/X)} \quad (5)$$

Y 为年蒸发量,X 为蔬菜种植面积。

用糖蔗、蔬菜和水果的种植面积作因子,对因变量雷州半岛年蒸发量建立回归方程为:

$$Y=1853.328-15.311X_1-7.001X_2-9.584X_3 \quad (6)$$

其中 Y 为年蒸发量, $X_1$  为糖蔗种植面积, $X_2$  为蔬菜种植面积, $X_3$  为水果种植面积。

回归方程的决定系数  $R^2$  为 0.401。糖蔗、蔬菜和水果的种植面积标准回归系数分别为 -0.609、-0.180 和 -0.206,可见糖蔗种植面积与雷州半岛年蒸发量变化相关性最大,其次为水果和蔬菜。

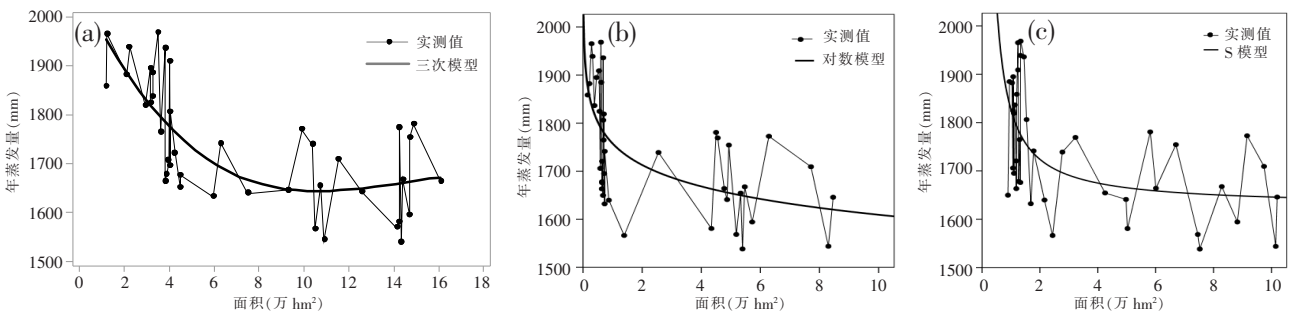


图 3 雷州半岛农作物面积和年蒸发量模型拟合图

(a)糖蔗;(b)水果;(c)蔬菜

## 4 结论与讨论

(1)雷州半岛年平均降水日数为 144.9d,北多南少,总体呈先增后减的趋势,遂溪和徐闻呈明显减少的线性趋势。各站雨日前期均呈增多趋势,70 年代中期雨日均显著偏多,80 年代各站呈减少趋势,先后出现雨日由偏多转偏少的突变。雷州半岛年平均

降水量为 1664.8mm,北多南少,总体呈先增后减的趋势。

(2)雷州半岛年平均蒸发量为 1735.0mm,南多北少,全岛呈显著减小的线性趋势,大部分站在 70 年代前期开始显著减小。雷州半岛年平均蒸发量高于降水量 70.2mm。

(3)年降水日数与水稻种植面积呈显著正相关,

与蔬菜、水果、糖蔗种植面积呈显著负相关。在 70 年代中期后,水稻种植面积逐渐减少,糖蔗、水果、蔬菜种植面积逐渐加大,80 年代开始年降水日数逐渐减少。与雷州半岛年降水日数相关系数由大到小依次为水稻、糖蔗、蔬菜和水果的种植面积。

(4)蒸发量与糖蔗、蔬菜、水果种植面积呈显著负相关关系,与水稻、花生种植面积相关不显著,随着糖蔗、水果、蔬菜种植面积加大,蒸发量也随之减少,可能影响雷州半岛年蒸发量从大到小依次为糖蔗、水果和蔬菜的种植面积。

本文中部分结论目前只是通过数理统计推理得出的初论,关于雷州半岛作物种植布局调整与降水、蒸发的相关关系及具体作用机理还需做进一步的研究,开展数值模拟研究和更多的观测试验,用更多的数据验证和校对。

#### 参考文献:

- [1] 李爱贞,刘厚凤,张桂芹.气候系统变化与人类活动[M].北京:气象出版社,2003:14-15,21.
- [2] 郭晓峰,康凌,蔡旭晖,等.华南农田下垫面地气交换和能量收支的观测研究[J].大气科学,2006,30(3):453-463.
- [3] 黄维,吴炫柯,刘永裕,等.气候变化对广西双季稻种植布局的影响[J].中国农业气象,2020,41(9):539-551.
- [4] 吴乾慧,张勃,马彬,等.气候变暖对黄土高原冬小麦种植区的影响[J].生态环境学报,2017,26(3):429-436.
- [5] 浦吉存,黄中艳,高敏.云南气候特征与主要经济作物种植适宜性的关系[J].气象研究与应用,2021,42(1):53-57.
- [6] 黄杰.气候变化对中国油菜生产布局的影响研究[D].湖北:华中农业大学,2019.
- [7] 秘鲁.植被绿化对北半球中高纬度干旱半干旱区温度变化的影响[D].甘肃:兰州大学,2020.
- [8] 陈怀亮.黄淮海地区植被覆盖变化及其对气候与水资源影响研究[D].南京:南京信息工程大学,2007.
- [9] 吴明心,郭松平.辽西地区森林植被的恢复对降水影响[J].农业气象,1985(4):55-57,31.
- [10] 范广洲,吕世华.陆面植被类型对华北地区夏季降水影响的数值模拟研究[J].高原气象,1999(4):649-658.
- [11] 张少波,陈玉春,吕世华,等.青藏高原植被变化对中国东部夏季降水影响的模拟研究[J].高原气象,2013,32(5):1236-1245.
- [12] 郭建侠,杜继稳,郑有飞.陕北生态治理对当地降水影响的数值模拟[J].高原气象,2005(6):994-1001.
- [13] 杨凯,唐敏,周丽英.上海近 30 年来蒸发变化及其城郊差异分析[J].地理科学,2004,24(5):557-561.
- [14] 王建英,王克勤.元谋干热河谷植被恢复中水平阶整地对土壤蒸发的影响[J].水土保持研究,2006(2):10-13.
- [15] 朱晗晖,张宇,沈晓燕,等.农牧交错带植被演变对区域气候影响的模拟[J].高原气象,2018,37(3):721-733.
- [16] 陈海山,李兴,华文剑.近 20 年中国土地利用变化影响区域气候的数值模拟[J].大气科学,2015,39(2):357-369.
- [17] 刘冠州.陆面植被参数对中国区域气候模拟的影响[D].南京:南京信息工程大学,2019.
- [18] 吕世华,陈玉春.西北植被覆盖对我国区域气候变化影响的数值模拟[J].高原气象,1999(3):416-424.
- [19] 植石群,刘爱君,周世怀.雷州半岛气候资源特征与农业发展对策[J].中国生态农业学报,2003(4):174-175.
- [20] 黄晓梅,简茂球,刘桂兴.雷州半岛干旱的特征及其环流分析[J].广东气象,2013,35(3):20-24.
- [21] 任启伟,李鑫华,尹小玲,等.广东省干旱灾害识别及变化趋势[J].热带地理,2017,37(4):494-500.
- [22] 张得胜,江涛,黎坤,等.基于 Copula 函数的雷州半岛气象干旱风险分析[J].人民珠江,2019,40(9):110-120.
- [23] 张羽,牛生杰.雷州半岛雷暴发生频次变化特征及其与作物布局调整的相关分析[J].热带气象学报,2008,24(6):649-657.

## Variation characteristics of water condition and its correlation with crop distribution adjustment in Leizhou Peninsul

Zhang Ji<sup>1</sup>, Liu Yanqun<sup>2\*</sup>, Zhu Xuechao<sup>3</sup>, Zhang Yu<sup>4</sup>, Zhi Shiqun<sup>4</sup>, Yu Zhou<sup>5</sup>

(1.Heshan Meteorological Bureau, Heshan Guangdong 529700; 2. Shaoguan Meteorological Bureau, Shaoguan Guangdong 512026; 3. Linyi Meteorological Bureau, Linyi Shandong 276004; 4. Guangdong Climate Center, Guangzhou 510640; 5. Zhanjiang Meteorological Bureau, Zhanjiang Guangdong 524000)

**Abstract:** Based on meteorological data and main crop planting area data, the climate change characteristics of precipitation and evaporation in Leizhou Peninsula were analyzed by means of climate tendency rate, MK climate mutation test, correlation analysis, 11 model fitting and regression analysis. The response law of precipitation and evaporation to crop layout adjustment in Leizhou Peninsula was studied. The results showed that from 1961 to 2001, the south of Leizhou Peninsula was generally dry and the North was waterlogged, and the annual precipitation days and annual precipitation were more in the north than in the south, and both of them increased first and then decreased. The annual evaporation was more in the south than in the north, and showed a significant downward trend. The number of annual precipitation days was significantly positively correlated with the area of rice, and negatively correlated with the area of vegetables, fruits, and sugarcane. Evaporation was significantly negatively correlated with the area of sugarcane, vegetables, and fruits.

**Key words:** Leizhou Peninsula; precipitation; evaporation; crop layout; relevance