

李剑金,梁冰,陈冰,等. 基于关键气象因子的茂名市早稻产量预报模型[J]. 气象研究与应用,2023,44(4):121-125.

LI Jianjin, LIANG Bing, CHEN Bing, et al. Forecast model of early rice yield in Maoming based on key meteorological factors[J]. Journal of Meteorological Research and Application, 2023, 44(4): 121-125.

基于关键气象因子的茂名市早稻产量预报模型

李剑金¹, 梁冰², 陈冰¹, 黄浩¹, 王洁远¹, 何泽华¹, 陈蔚烨¹

(1.化州市气象局, 广东 化州 525100; 2.茂名市气象局, 广东 茂名 525100)

摘要: 利用茂名市农业气象观测站早稻观测资料、地面气象观测资料,采用统计分析法,确定茂名市影响早稻产量的关键气象因子,运用多元线性回归方法建立茂名市早稻产量预测模型。结果表明,影响茂名市早稻产量的关键气象因子为6月下旬相对湿度、6月上旬日照和5月中旬雨量。经检验,建立的茂名市早稻产量模型对近两年预报准确度分别为95.8%和85.7%,可满足农业气象服务需求。

关键词: 关键气象因子; 茂名; 早稻产量; SPSS; 产量预报模型

中图分类号: S165

文献标识码: A

doi: 10.19849/j.cnki.CN45-1356/P.2023.4.19

茂名市位于广东省西南部,属于热带、亚热带过渡地带,气候高温多湿,光照充足,雨量充沛,水热同季,土壤肥力良好,适宜双季水稻生产,是广东省内水稻生产大市。茂名市国土面积 $1.15 \times 10^6 \text{ km}^2$,在1995—2020年,全市水稻平均年播种面积约 $2 \times 10^5 \text{ km}^2$,居全省地市第二,平均年度稻谷总产量 $1.248 7 \times 10^9 \text{ kg}$,居全省地级市第一,其中茂名早稻平均产量占全年稻谷总产量的51.1%^[1]。

大量研究表明,农作物的产量与气象条件关系密切,水稻不同的生育时期对气象条件要求不同,当气象条件不能满足时,会影响水稻正常生长,甚至导致减产。关键气象因子是在水稻的某个发育期内,对产量起到关键作用的气象要素^[2-8]。基于关键气象因子建立的水稻产量预测模型,能根据水稻生长发育过程中关键气候条件的变化对早稻产量形成的影响,为农业部门提供准确的作物产量预测信息,为茂名市农业部门科学防灾减灾、有效应对气候变化、加强气象为“三农”服务,做好农业气象监测预报预警和评估技术,完善现代农业气象指标体系建设,保障粮食安全提供有意义的决策参考依据。国内关于气象因子对水稻产量预报已有很多研究成果,李琳琳^[9]

和张加云等^[10]基于关键气象因子,分别建立辽宁和云南地区的水稻产量预报模型;罗正海^[11]和黄中雄^[12]基于统计预报方法,分别对潮汕地区和南宁市水稻产量进行预报;徐芳^[13]通过SPSS统计软件建立梧州市早稻产量的定量预测模型。目前尚无针对茂名地区气象条件对水稻产量影响的研究。本研究以茂名两个农业气象试验站(化州、信宜)的早稻生育期观测资料、产量资料以及国家基本地面气象观测站(化州、信宜)的气象数据为代表,利用SPSS软件、Excel软件绘图分析,运用数理方法统计,分析茂名水稻物候期和生育期的气候变化特征。统计茂名市1995—2020年4—7月各旬的平均气温、降水量、日照时数、相对湿度、最高气温、最低气温和平均风速7个气象因子,用SPSS软件进行相关性分析和逐步回归分析,确定影响茂名市早稻产量的关键气象因子,建立茂名市早稻产量统计预报模型。

1 资料与方法

1.1 研究区概况与资料来源

茂名市地形地貌复杂多样,地势北高南低,背山面海,南北地域种植的作物地理环境不同,同时受季

收稿日期: 2023-11-05

基金项目: 广东省气象局科技项目“气候变化对茂名水稻产量的影响研究”

第一作者简介: 李剑金(1998—),女,助理工程师,研究方向为农业气象。

* 通信作者: 陈冰(1973—),女,高级工程师,主要从事气象服务与应用气象研究。

风降水变率的影响较大,南北地域间气候亦有差异。因此,选取中北部信宜和西南部化州作为早稻研究区域,两个城市的种植环境可以代表全茂名市的水稻生产环境情况。

文中用到的气象数据资料来自茂名市国家气象观测站,通过广东省气象农业系统 AGROS 软件下载收集,主要包括平均气温、降水量、日照时数、相对湿度、日平均风速、最高气温、最低气温。水稻生育期观测资料和产量资料来自化州和信宜两个开展农业气象观测工作的年报表。因为茂名市对农业气象水稻的统一观测工作开始于 1994 年,所以上述水稻观测资料选取时段为 1995 年至 2022 年。根据两站点早稻耕种面积分别在茂名市总的早稻耕种面积的权重占比,进行数据处理后得到茂名市早稻产量。因茂名市的早稻耕种面积变化不大,选用近十年化州和信宜早稻播种面积平均值进行研究,其中,化州市、信宜市和茂名市的早稻播种面积资料均来源于茂名市年鉴。

1.2 资料说明

化州市和信宜市气象局开展水稻观测工作是借用普通农户的耕田,农户收稻后晒干称重的观测田产量取值困难,故用取样观测相关要素计算得出的产量数据进行研究。本次研究主要是探讨影响茂名地区早稻的气象因子,其它非气象原因如种植技术、水稻品种等均不作考虑。

早稻产量 $(\text{kg} \cdot (\text{hm}^2)^{-1}) = \text{穗结实粒数} \times \text{千粒重} (\text{kg}) \times \text{乳熟期每平方米有效茎数} (\text{m}^2) \cdot 10\,000^{-1}$ (1)

1.3 研究方法

利用面积权重计算茂名市早稻产量数据,将产量数据用 Excel 进行五年滑动处理后,以时间为自变量,建立回归方程,求得茂名早稻的趋势产量方程。通过产量分离得到茂名早稻气象产量数据,将气象产量与早稻各个生长阶段的气象因子通过 SPSS 软件进行相关性分析,确定关键气象因子,最后通过多元线性回归的方法建立早稻的气象产量预测模型,将趋势产量方程和气象产量预测方程叠加,得到茂名市早稻产量统计预报模型^[14-16]。

1.4 资料处理分析

1.4.1 早稻产量资料处理

根据产量贡献公式 (2),求得茂名市 1995—2020 年历年的早稻产量。

$$Y = (Y_1 \times K_1 + Y_2 \times K_2) / (K_1 + K_2) \quad (2)$$

式中, Y 为茂名市早稻产量, K_i 为面积权重系

数, 1、2 分别代表化州、信宜,其计算公式为:

$$K_i = S_i / S \quad (3)$$

式中, S_i 为某地当年早稻实际播种面积, S 为当年全茂名市早稻播种面积。

1.4.2 分离气象产量

水稻产量一般可以分解成实际产量、趋势产量、气象产量和随机产量^[17]。

$$Y = y_a + y_b + a \quad (4)$$

式中, Y 为实际产量, y_a 为趋势产量, y_b 为气象产量, 为随机产量, 其中随机产量一般忽略不计。在本研究中, 将茂名早稻产量的时间序列数据进行五年滑动平均处理, 再以时间为自变量, 产量资料为因变量建立线性回归方程, 得出每年茂名早稻的趋势产量方程:

$$y_a = 13.414X - 26\,352.708 \quad (5)$$

2 结果与分析

2.1 早稻产量年际变化特征

图 1 为茂名 1995—2020 年早稻产量和气象产量变化趋势图。由图 1 看出茂名早稻气象产量趋势与实际产量趋势变化基本一致。1998—2010 年气象产量呈波动下降趋势, 2005 年之前气象产量为正值, 2006 年到 2010 年转为负值, 表明 2005 年之后的农业气象条件相对较差, 但除 2008 年早稻产量明显偏少外, 1998—2007 早稻实际单产大致是比较平稳, 这可能是随着技术和水稻品种的改进带来产量提高, 对较差情况下, 早稻产量还能比较平稳; 而 2008 年由于 6 月上旬日照严重偏少且降水较多对早稻孕穗灌浆不利, 早稻产量较前一年相比有 20% 左右减产。2011 年以来随着生产技术水平和水稻品种的进一步改进以及气象条件监测手段的发展和农业服务精细化, 茂名地区早稻产量除个别年份有突

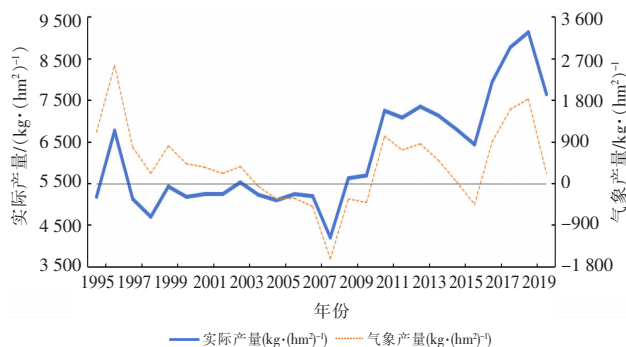


图 1 茂名 1995 年至 2020 年早稻产量及气象产量年变化趋势

变外,总体呈振荡型快速上升趋势。2016 年气象条件不太好的情况下,早稻的产量也与气象条件极有利于增产的 1996 年早稻产量相差不大;在 2020 年较好的气象条件下,早稻产量相对较高。

2.2 早稻生育期分析

对茂名市早稻生育期进行统计(表 1),茂名早稻平均播种时间为 3 月中旬,4 月中旬移栽,7 月中旬成熟。从人工播种期至抽穗期需要 95 d,抽穗到成熟期需要 30 d,全生育期约为 125 d。

表 1 茂名早稻生育期关键节点	
生育期	出现时间
苗期	3 月中旬到 4 月上旬
移栽-返青	4 月上旬到 4 月中旬
分蘖	4 月下旬到 5 月上旬
拔节	5 月中旬到 5 月下旬
孕穗	6 月上旬
抽穗开花	6 月中旬
乳熟-成熟	6 月下旬到 7 月中旬

3 模型构建

3.1 影响早稻产量的气象因子

(1)由于茂名早稻从 4 月开始移栽,本文气象因子的选取从 4 月开始。对茂名早稻生长发育期分析,以旬为单位分为 11 旬,计算每旬的平均气温、降雨量、日照、最高气温、最低气温、相对湿度、平均风速。分析气象产量和每旬气象因子的相关性。结果表明,4 月中旬相对湿度、5 月上旬日照、5 月上旬相对湿度、5 月中旬雨量、6 月上旬日照、6 月上旬平均气温、6 月上旬最低气温、6 月下旬相对湿度和 6 月下旬最高气温共 9 个因子与气象产量相关性较高且通过显著性检验(见表 2)。

对于茂名早稻而言,在人工种植的情况下,田间水分管理可以进行人工干预,比起降雨和相对稳定的温度这两个气象因子,早稻产量受日照、相对湿度影响更大,而平均风速则对茂名早稻各阶段生长无显著影响。

表 2 气象产量与气象因子的相关性					
气象因子	4 月中旬	5 月上旬	5 月中旬	6 月上旬	6 月下旬
雨量			-0.418*		
日照		-0.428*		0.476*	
相对湿度	0.399*	0.471*			0.506**
平均气温				0.450*	
最低气温				0.551**	
最高气温					-0.420*

注:表中“*”和“**”分别表示通过 0.05 和 0.01 水平的显著性检验。

3.2 建立早稻气象产量预报模型

将相关性较高的 9 个气象因子,通过 SPSS 软件进行逐步回归分析,得到影响茂名早稻气象产量的 3 个关键气象因子:5 月中旬雨量、6 月上旬日照和 6 月下旬相对湿度,并建立茂名早稻气象产量预报模型:

$$Y_b=-966.557+11.096X_1+2.164X_2-0.557X_3 \quad (6)$$

上述式子中, y_b 是预报模型估算的茂名早稻气象产量, X_1 是 6 月下旬相对湿度, X_2 是 6 月上旬日照, X_3 是 5 月中旬雨量。

5 月中旬为早稻拔节期,一般不能断水,但还需视降雨情况而定,雨水较多时,应搁田降低水稻植株间湿度,减少病虫害发生几率。此阶段,稻田需有水

层,防脱水受旱,但长时间处于淹水状态又会引起土壤氧气不足,对根的生长不利。因此,5 月中旬雨量与气象产量关系为负相关。

6 月上旬为孕穗时期,充足的日照使花粉活力增强,有利于提高穗粒数和结实率。较高的温度对水稻生长发育影响显著,尤其是二次灌浆的水稻品种会因适当高温受益,增加水稻粒重和水稻的结实率。因此 6 月上旬日照时数为正相关。

6 月下旬进入早稻乳熟时期,是水稻产量形成最重要的时期,该时期对水分尤为敏感。水稻抽穗之后 25 d 左右,保持田间较高的湿度,能有效保障水稻具有饱满的子粒,增加水稻粒重和水稻的结实率,因此该时期相对湿度为正相关。

3.3 建立早稻产量预报模型

将估算趋势产量(公式(5))与气象产量统计模型叠加公式(6),即得到茂名早稻产量预报模型:

$$Y=13.414X+11.096X_1+2.164X_2-0.557X_3-27\,319.265 \quad (7)$$

其中 Y 为预报模型估算的茂名早稻产量, X 为年份, X_1 是 6 月下旬相对湿度、 X_2 是 6 月上旬日照、 X_3 是 5 月中旬雨量。

3.4 模型检验

将 1995—2022 年数据回代到拟合预报模型,得出 1995—2022 年茂名市早稻产量的拟合预报值,并与 1995—2022 年茂名市早稻实际产量进行对比(图 2),发现预报早稻产量曲线与实际早稻产量曲线变化趋势基本吻合。

本研究的早稻产量预报准确率检验为:

$$\text{准确率}(\%)=[1-(\text{模拟产量}-\text{实际产量})/\text{实际产量}]\times 100 \quad (8)$$

将模式模拟的产量和实际产量进行回代检验,得到平均准确率为 92.5%,预测结果比较可信。其中准确率最小值为 72%~77%,出现在 2008 年、2002 年。对于使用统计方法的气象产量预报模型来说,当气象要素处于异常状态时,预报的结果较差。

将 2021 和 2022 年相关数据代入模型,通过计算得到该年预报产量,与实际产量进行对比,预报的准确度分别为 95.7%和 85.7%。由此可见,构建的早稻产量预报模型具有较高的准确度,在气象为农服务中具有一定的实用价值。

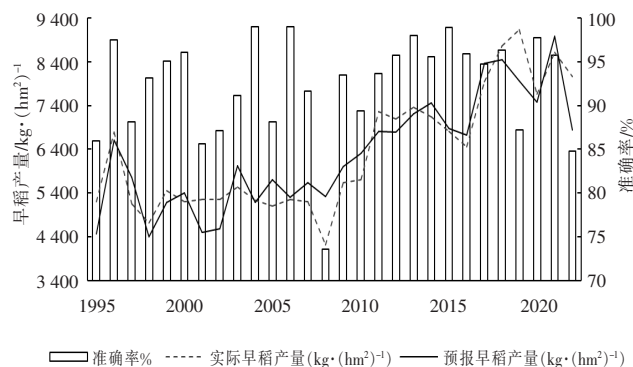


图 2 1995—2022 年茂名市早稻产量
模拟产量预报及回代检验

4 结论与讨论

(1)比起降雨和气温气象因子,茂名早稻产量受日照、相对湿度影响更大,而平均风速则对茂名早稻

各阶段生长无显著影响。通过对茂名水稻气象产量与生育期气象因子进行相关分析,筛选确定 6 月下旬相对湿度、6 月上旬日照和 5 月中旬雨量 3 个气象因子作为影响茂名早稻气象产量的关键气象因子,并建立早稻产量预测模型。

(2)各关键气象因子反映水稻在生长发育不同阶段对光、温、水的需求,5 月中旬为茂名早稻拔节期,需水量较多,但降雨较多会使稻田长时间处于淹水状态而引起土壤氧气不足,对根的生长不利。6 月上旬为孕穗时期,充足的日照使花粉活力增强,有利于提高穗粒数和结实率。6 月下旬为乳熟时期,是水稻产量形成最重要时期,对水分尤为敏感。水稻抽穗 25 天左右,保持田间较高湿度,能有效保证水稻具有饱满子粒,增加水稻粒重和水稻的结实率。

(3)基于影响早稻产量的 3 个关键气象因子,建立茂名早稻产量预测模型,参数少、方法简单,易于使用,产量模拟准确度高,回代检验准确度平均达 92%,近两年预报准确度分别为 95.8%和 85.7%,基本上可以满足农业气象服务的需要。

本模型所选用的气象预报因子存在时间限制,不能在水稻生长发育期内任意时间进行产量预报。另外,由于水稻的具体产量还与不同品种特性、栽培措施等其他因素密切相关,利用预测模型进行早稻产量预报业务时,还应该结合其他预报方法,对结果进行适当调整。

参考文献:

- [1] 茂名市统计局. 茂名市统计年鉴[R]. 北京: 中国统计出版社, 2022.
- [2] 刘洪英, 鲜铁军, 李睿, 等. 基于气象因子的水稻产量预报模型[J]. 陕西气象, 2020(5): 45-47.
- [3] 陆小林, 罗广金, 黎玲, 等. 超高产早稻生长特征与气象因素影响分析[J]. 气象研究与应用, 2019, 40(2): 61-64, 72.
- [4] 李树岩, 余卫东. 基于气候适宜度的河南省夏玉米产量预报研究[J]. 河南农业大学学报, 2015, 49(1): 27-34.
- [5] 廖雪萍, 史彩霞, 黄梅丽, 等. 广西早稻高温热害变化特征及其对产量的影响[J]. 气象研究与应用, 2019, 40(2): 56-60, 114.
- [6] 张印平, 邹丽霞, 郭昌东, 等. 柑桔物候期与气象因子关系的分析[J]. 气象研究与应用, 2017, 38(3): 93-95.
- [7] 陈勇, 廖玉芳, 郭东鑫, 等. 长沙近 41 年气候变化对双季早稻产量的影响[J]. 中国农学通报, 2013, 29(14): 167-173.
- [8] 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.
- [9] 李琳琳, 王婷, 李雨鸿, 等. 基于关键气象因子的辽宁省水稻产量动态预报[J]. 大麦与谷类科学, 2017, 34(4): 50–54.
- [10] 张加云, 陈瑶, 朱勇, 等. 基于相似气象年型和关键气象因子的云南一季稻动态产量预报[J]. 中国农学通报, 2020, 36(34): 96–99.
- [11] 罗正海. 用统计法试作潮汕地区水稻产量预报[J]. 广东气象, 1998, 20(1): 24–25.
- [12] 黄中雄. 南宁市水稻产量预报方法研究与实践[J]. 气象研究与应用, 2006, 27(增刊 1): 93–95.
- [13] 徐芳, 黄帆. 基于 SPSS 的梧州早稻产量预测模型构建[J]. 气象研究与应用, 2016, 37(3): 98–101.
- [14] 李涵茂, 帅细强, 戴平, 等. 基于关键气象因子的湘北早稻产量动态预报[J]. 湖南农业科学, 2015 (1): 114–116, 119.
- [15] 袁立新, 段修荣, 余先超. SPSS 建立自贡水稻产量年景预测模型[J]. 四川气象, 2006(1): 31–33.
- [16] 魏中海, 王建勇, 夏宣炎. 粮食产量预测的因子处理和建模方法[J]. 华中农业大学学报, 2004(6): 680–684.
- [17] 唐余学, 罗孳孳, 范莉, 等. 基于关键气象因子的中稻单产动态预报[J]. 中国农业气象, 2011(增刊 1): 140–143.

Forecast model of early rice yield in Maoming based on key meteorological factors

LI Jianjin¹, LIANG Bing², CHEN Bing¹, HUANG Hao¹, WANG Jiieyuan¹, HE Zehua¹, CHEN Weiye¹
(1. Huazhou Meteorological Bureau, Guangdong Huazhou 525100, China;
2. Maoming Meteorological Bureau, Guangdong Maoming 525100, China)

Abstract: Using the early rice data and surface meteorological data of Maoming agricultural meteorological observation station, the key meteorological factors affecting the yield of early rice in Maoming City were identified by correlation analysis and the prediction model of the early rice yield was established by stepwise regression analysis. The results show that the key meteorological factors affecting the early rice yield in Maoming City are relative humidity in late June, sunshine in early June and rainfall in mid-May; the accuracy of the established early rice yield model in Maoming City for the past two years is 95.8% and 85.7%, respectively, which can satisfy the demand for agricultural meteorological services.

Key words: key meteorological factors; Maoming; early rice yield; SPSS; yield forecast model