

# 基于 GIS 的广西水稻种植布局精细化气候区划

何燕<sup>1</sup> 王斌<sup>2</sup> 江立庚<sup>2</sup> 孟翠丽<sup>1</sup> 欧钊荣<sup>1</sup> 徐世宏<sup>3,\*</sup>

(<sup>1</sup>广西区气象减灾研究所/国家卫星气象中心遥感应用示范基地, 南宁 530022; <sup>2</sup>广西大学 作物栽培学与耕作学重点实验室, 南宁 530005; <sup>3</sup>广西区农业技术推广总站, 南宁 530022; \* 通讯联系人, E-mail: Xush3088@126.com)

## Refined Climatic Division of Rice Planting Distribution Using GIS in Guangxi, China

HE Yan<sup>1</sup>, WANG Bin<sup>2</sup>, JIANG Li-geng<sup>2</sup>, MENG Cui-li<sup>1</sup>, OU Zhao-rong<sup>1</sup>, XU Shi-hong<sup>3,\*</sup>

(<sup>1</sup>Guangxi Meteorological Disaster Mitigation Institute, Nanning 530022; <sup>2</sup>Key Laboratory of Crop Cultivation and Farming System of Guangxi University, Nanning 530005; <sup>3</sup>Guangxi General Station for Agricultural Technology Extension, Nanning 530022; \* Corresponding author, E-mail: Xush3088@126.com)

HE Yan, WANG Bin, JIANG Ligeng, et al. Refined climatic division of rice planting distribution using GIS in Guangxi, China. *Chin J Rice Sci*, 2013, 27(6): 658–664.

**Abstract:** According to the climatic requirements of rice growth and development, four key climatic factors, including length of safe period for rice cropping, active accumulated temperature during the safe period, sunshine hours during the period when daily mean temperature above 10°C and annual mean temperature, were selected as the indices to classify agro-climatic zones for rice cropping in Guangxi. Climatic data during 1961 to 2010 and related geographical information data of 90 weather stations in Guangxi were used to establish spatial calculating models for the classification indices. The spatial calculating models for the safe period for rice cropping ( $Y=1193.028-9.831 \varphi-0.086h-6.680 \lambda$ ), the active accumulated temperature during the safe period ( $Y=30166.74-262.656 \varphi-2.848 h-165.549 \lambda$ ), the sunshine hours during the period when daily mean temperature above 10°C ( $Y=6665.195-110.344 \varphi-0.416 h-23.416 \lambda$ ), and the annual mean temperature ( $Y=73.237-0.735 \varphi-0.005 h-0.314 \lambda$ ) were obtained by using geographic information system (GIS) technology and stepwise regression method, and fine-grid calculation and residual error correction were carried out for each classification index. Based on the identified classification rules, four agro-climatic zones, namely late-maturing double-rice cropping zone, middle and late-maturing double-rice cropping zone, early and middle-maturing double-rice cropping zone, and single rice-ratoon rice cropping zone, were classified for rice cropping in Guangxi, and the map of agro-climatic zones for rice cropping in Guangxi was built.

**Key words:** geographic information system; rice cropping layout; agro-climatic zone classification

何燕, 王斌, 江立庚, 等. 基于 GIS 的广西水稻种植布局精细化气候区划. 中国水稻科学, 2013, 27(6): 658–664.

**摘 要:** 根据水稻生长发育对气候条件的要求, 分析确定了广西种植水稻合理布局的关键气候因子以及气候区划等级指标, 即水稻安全生育期天数、安全期活动积温、日平均气温 $\geq 10^\circ\text{C}$ 的日照时数、年平均气温等 4 个关键气候因子, 作为划分广西水稻种植布局的气候区划指标。采用广西 90 个气象台站 1961–2010 年的气候资料以及对站点的地理基础信息数据, 应用 GIS 技术和逐步回归分析方法建立气候区划指标因子的空间模拟推算模型, 即水稻安全生育期天数的模拟推算模型( $Y=1193.028-9.831 \varphi-0.086 h-6.680 \lambda$ ), 安全期活动积温的模拟推算模型( $Y=30166.74-262.656 \varphi-2.848 h-165.549 \lambda$ ), 日平均气温 $\geq 10^\circ\text{C}$ 的日照时数模拟推算模型( $Y=6665.195-110.344 \varphi-0.416 h-23.416 \lambda$ ), 以及年平均气温的模拟推算模型( $Y=73.237-0.735 \varphi-0.005 h-0.314 \lambda$ ), 并对气候区划指标要素进行细网格推算和残差订正计算, 然后依据已确定的水稻各项气候区划等级指标, 把广西划分为迟熟双季稻适宜气候区、中迟熟双季稻适宜气候区、早中熟双季稻适宜气候区、单季稻再生稻适宜气候区等四个气候区域, 制作广西种植水稻布局的精细化气候区划专题图, 并对其区划结果进行分析评述, 提出适宜品种的建议。

**关键词:** 地理信息系统; 水稻布局; 气候区划

**中图分类号:** S162; S511.019

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1001-7216(2013)06-0658-07

收稿日期: 2013-04-22; 修改稿收到日期: 2013-07-19。

**基金项目:** 广西自然科学基金资助项目(2011GXNSFA018098, 桂科自 0832204); 广西科技攻关项目(桂科攻 10100004-6); 国家现代农业产业技术体系广西创新团队(水稻)专题项目(nycytxgxcxt-d-01-01); 广西八桂学者岗位专项。

广西位于我国南部的低纬地区,气候温暖,热量丰富,雨量丰沛,雨热同季,日照充足,气候资源对发展水稻生产较为有利。因此,广西种植水稻历史悠久,是我国双季稻主产区之一,历年水稻种植面积和产量位居广西粮食作物的首位。但广西地处东亚季风区域,属于中、亚热带季风气候区,主要受冬夏季风的交替影响,加上复杂的地理地形环境和季风气候特征,造成广西各地气候差异明显,寒露风冷害等农业气象灾害对水稻生产也造成了不同程度影响,使广西水稻生产受到一定制约;广西各地气候条件多种多样,水稻等农作物种植制度和品种选择也有所不同。为了充分合理利用广西气候资源,趋利避害因地制宜发展水稻生产,使广西水稻生产获得持续丰产稳产优质高效,有必要采用地理信息系统(GIS)等新技术新方法对广西水稻种植优化布局进行气候区划研究,为相关部门指导水稻生产提供科学决策参考依据。

国外运用 GIS 在作物区划方面进行了较多研究并取得了不少成果。Pollak 等<sup>[1]</sup>在墨西哥及中美洲地区利用 GIS 数据集对玉米生长区域进行了分类研究。Bazgeer 等<sup>[2]</sup>研究了伊朗库尔德斯坦省干旱地区小麦的气候区划。Inthavong 等<sup>[3]</sup>采用 AEZ 法对主要大田作物进行气候适宜分区。Patel 等<sup>[4]</sup>采用 GIS/AEZ 技术方法对小麦、甘蔗种植进行优化分区等。Rad 等<sup>[5]</sup>在伊朗西北部(阿塞拜疆地区)的农业气候分类研究中,利用统计学方法建立了一年生物物活动积温与地理信息数据的相关模型,并在 IDRISI 系统环境下绘制了相应的专题图。Geerts 等<sup>[6]</sup>依托 GIS 技术进行气候指标的克里格插值并利用 GIS 查询绘图得到玻利维亚高原的黎麦适宜性区划。Kara 等<sup>[7]</sup>采用 Arcview 3.2 软件并依托 GIS 空间分析功能获得土耳其的巴夫拉和恰尔尚巴平原的农业生态区划专题图。Bagherzadeh 等<sup>[8]</sup>应用 GIS 对伊朗东北部马什哈德平原谷类作物进行了土地适宜性评价。Arayaa 等<sup>[9]</sup>对影响农作物适宜种植区的气象因子进行了研究。

国内一些学者利用 GIS 技术在气候资源及作物区划方面开展了研究,利用 GIS 技术进行了气象灾害区划和灾害监测评估预警。Ye 等<sup>[10]</sup>借助 GIS 对茶叶等的适宜性进行了评价。邱炳文等<sup>[11]</sup>采用 GIS 技术和多目标评价(MCE)方法对漳州地区三种主要水果(香蕉、荔枝和龙眼)进行适宜性评价。周治国等<sup>[12]</sup>建立了基于 GIS 的作物生产管理信息

系统并用于作物区划。冯晓云等<sup>[13]</sup>利用多元回归方法对山东农业气候资源空间建模,采用 GIS 技术对其进行气候资源区划,得到 5 个分区的山东农业气候资源区划图。何燕等<sup>[14]</sup>根据巴西陆稻生长发育对气候条件的要求,结合其在广西的多年引种试验结果,采用 GIS 技术对广西引种巴西陆稻合理布局进行气候区划研究。刘权<sup>[15]</sup>用 GIS 等“3S”技术、卫星通信技术及防洪决策支持系统监测和评估辽河下游地区洪灾及其损失。何燕等<sup>[16-18]</sup>还应用 GIS 技术和数理统计回归分析方法对广西水稻春季低温冷害和秋季寒露风冷害进行了精细化灾害区划研究;并利用 GIS 技术和气候数学模型,结合水稻低温冷害指标,实现了广西水稻春季冷害和秋季“寒露风”冷害的监测评估预警。朱勇等<sup>[19]</sup>确定了云南水稻的有关农业气象指标,用传统区划方法完成了云南省杂交水稻种植的气候区划。魏丽等<sup>[20]</sup>以双季稻稳定通过 10~20℃ 的有效积温和早稻抽穗-灌浆成熟期日平均气温 $\geq 27^{\circ}\text{C}$ 的天数作为江西省早稻气候区划指标,在 GIS 系统支持下进行了江西省优质早稻试用种植区的划分和评价。魏兴萍等<sup>[21]</sup>以年平均气温作为主要区划指标,在 GIS 平台对重庆市制作水稻种植气候区划。涂方旭<sup>[22]</sup>在对广西水稻气候区划的探讨中提出了以水稻安全生长季作为指标的初步气候区划。张灿权等<sup>[23]</sup>综合考虑年积温和产地环境条件及土地利用规划现状等因素开展基于 GIS 的铜鼓县绿色水稻初步种植区划。

从目前国内外的农作物区划研究和应用情况看,运用 GIS 开展作物种植适宜性区划的研究较多,而开展作物种植布局优化和品种合理搭配的区划研究报道很少。本研究采用广西近 50 年的气候资料数据和 1:250 000 广西基础地理信息数据,利用 GIS 技术和数理统计回归分析以及气候资源的细网格模拟分析方法,对广西水稻种植合理布局进行气候区划研究,实现新技术、新方法在气候变化背景条件下的水稻种植结构布局优化和品种搭配调整,对指导广西水稻生产合理利用气候资源和更科学地规划优化生产布局,促进广西水稻粮食生产更高产稳产优质高效发展具有重要的现实意义。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

#### 1.1.1 地理信息资料

地理信息资料采用国家基础地理信息中心提供

的 1 : 250 000 广西基础地理背景数据,包含省级行政区划图(行政边界分为省、地市和县三级,行政点分成县级以上、乡镇级、乡镇级以下行政点)、数字高程模型(DEM)以及与之相关的属性数据。这些数据是标准的 ARC/INFO 分幅 E00 格式数据,涉及广西范围的数据共有 20 多幅,每一个图幅包含行政边界、等高线等 14 个图层资料。利用 GIS 软件将数字高程模型等 E00 资料进行格式转换,再通过拼接、对栅格数据重采样、对矢量数据分层和筛选以及裁剪等系列处理,从中提取出 1 km ×1 km 网格距的广西经度、纬度、海拔高度等栅格数据。

1.1.2 气候资料

本文使用的气候资料为广西自治区气象局 90 个气象观测站的地面观测资料,包括广西近 50 年(1961—2010)历年逐日平均气温、降水量和日照时数等气象资料,以及由以上数据计算出来的年平均气温、安全期天数、安全期活动积温、日平均气温≥10℃的日照时数等气象数据。

1.2 方法

1.2.1 水稻种植布局的气候区划指标

生产实践和研究表明,热量条件是制约广西水稻品种布局和稻作制度的关键因子;双季稻安全生育期(即早稻安全播种期至晚稻安全齐穗期的持续天数),是决定当地能否种植双季稻和如何进行品种搭配的重要热量指标。水稻生长发育除了需要一定的安全期天数以外,还需要一定的积温、水分、光照,才能完成正常生长发育;水稻安全生育期长,温光水条件充足的地方,可种植生育期长的品种,反之,只能种植生育期短的品种,甚至只能种植单季稻。因此,根据水稻生产对气候条件的要求,结合广西长期种植水稻的实际生产情况,主要参考广西农业气象

前辈专家对水稻气候区划指标的研究成果<sup>[24-25]</sup>,选择水稻安全生育期天数、安全期活动积温、日平均气温≥10℃的日照时数、年平均气温等 4 个影响水稻种植布局的主要气候因子作为划分水稻种植布局气候区划指标,在此基础上,再通过广西农业气象专家和农业水稻专家的联合实地调查验证,并进行细化研究得出广西水稻种植布局的气候区划等级指标(表 1)。由于降雨量与水稻产量的统计分析结果相关性不显著,而且实际生产中广西绝大部分水稻均种植在有水灌溉的地方,通常情况下可以满足水稻正常生长发育对水分条件的需求,因此,没有将降雨量因子纳入气候区划指标。

1.2.2 水稻种植布局气候区划指标因子的地理模型

广西地形地貌复杂,南北纬度和东西经度的跨度大,经度、纬度、地形、地貌、地势等地理环境及下垫面特性明显不同,导致广西山地气候的垂直差异和水平差异都十分明显。经度、纬度、地形、地貌、地势等地理环境因素,影响太阳辐射的收支和大气环流的形势,并对气象要素具有重新分配的作用。因此,为了客观描述水稻种植布局气候区划指标因子在广西的实际分布情况,应用 GIS 技术和数理统计方法建立基于地理信息的气候区划指标因子的空间分析模型,并以此模拟推算区划指标因子在无测站地区的分布状况。气候要素与当地的经度、纬度、海拔等地理因子有着密切关系,区划指标与地理因子的关系模型可表示为:

$$y = f(\varphi, \lambda, h) + \epsilon \tag{1}$$

式中  $y$  为气候区划指标;  $\varphi, \lambda, h$  分别代表纬度、经度、海拔高度;函数  $f(\varphi, \lambda, h)$  称为区划指标的气候学方程; $\epsilon$  为余差项,称为综合地理残差,可

表 1 广西水稻种植布局气候区划指标  
Table 1. The climatic division index of rice planting in Guangxi.

区划等级指标 Classification index	迟熟双季稻 Late maturing double cropping rice	中迟熟双季稻 Middle- and late-maturing double cropping rice	早中熟双季稻 Early- and middle-maturing double cropping rice	单季稻再生稻 Single-cropping ratoon rice
安全期天数 Safe period for rice cropping/d	$D \geq 225$	$205 \leq D < 225$	$185 \leq D < 205$	$D < 185$
活动积温 Active accumulated temperature/℃	$\sum T \geq 5600$	$5200 \leq \sum T < 5600$	$4800 \leq \sum T < 5200$	$\sum T < 4800$
日均温≥10℃的日照时数 Sunshine hours during the period when daily mean temperature above 10℃/h	$S \geq 1500$	$1300 \leq S < 1500$	$1100 \leq S < 1300$	$S < 1100$
年平均温度 Annual mean temperature/℃	$T \geq 20.5$	$19.5 \leq T < 20.5$	$18.0 \leq T < 19.5$	$T < 18.0$

表 2 水稻种植布局气候区划指标因子的空间模拟推算模型

Table 2. Space calculating models for the division index of rice planting.

区划指标 Classification index	空间模拟分析模型 Spatial calculating model	复相关系数 Multiple correlation coefficient	F 值 F-value
安全期天数 Safe period for rice cropping/d	$Y=1193.028-9.831 \varphi-0.086 h-6.680 \lambda$	0.962	347.965
活动积温 Active accumulated temperature/℃ 日均温≥10℃的日照时数	$Y=30166.74-262.656 \varphi-2.848 h-165.549 \lambda$	0.972	479.215
Sunshine hours during the period when daily mean temperature above 10℃/h	$Y=6665.195-110.344 \varphi-0.416 h-23.416 \lambda$	0.836	65.925
年平均温度 Annual mean temperature/℃	$Y=73.237-0.735 \varphi-0.005 h-0.314 \lambda$	0.967	384.846

认为  $\varphi, \lambda, h$  所拟合的气候学方程残差部分,即

$$\epsilon = y - f(\varphi, \lambda, h) \tag{2}$$

在本研究中,函数  $f$  采用简单多元线性回归模型,按照逐步回归分析的原理,将考虑的全部因素对因变量  $Y$  作用显著程度的大小,逐个地按由大到小的顺序引入方程,使方程稳定并且效果最佳。即利用处理好的广西各个气象站点的气候观测资料数据及对应站点的经度、纬度、海拔高度等地理信息数据,应用数理统计中的逐步回归分析方法,将经度、纬度、海拔高度等地理因子作为自变量,把水稻安全生育期天数、安全期活动积温、年平均气温、日均温≥10℃的日照时数等 4 个影响水稻种植布局的主要气候因子分别作为因变量,建立对应的气候区划指标因子的空间模拟推算模型(表 2)。

表 2 中广西水稻种植布局各区划指标因子推算模型的复相关系数在 0.836~0.972,  $F$  值为 65.925~479.215,均通过显著性水平为 1%的显著性检验,表明方程回归效果较好,具有良好的统计学意义,可利用它进行区划指标要素的细网格模拟推算。  
1.2.3 应用 GIS 进行广西水稻种植布局的精细化气候区划

根据表 2 中的空间模拟推算模型,基于 GIS 技术和气候资源的细网格模拟分析推算及残差订正方法,分别研制广西水稻种植布局 4 项区划因子的空间分布图。即利用 GIS 软件从国家基础地理信息中心提供的 1:250 000 广西基础地理信息数据库中提取出 1 km×1 km 网格的经度、纬度、海拔高度等网格数据和广西的省级、县级行政边界以及县级以上行政点等矢量数据;然后将 1 km×1 km 网格的经度、纬度、海拔高度等地理信息数据代入表 2 中的各个气候区划因子推算模型方程,推算出每个区划因子在 1 km×1 km 网格上的分布;再利用 GIS

反距离权重插值法以 90 个气象台站的残差值为样本内插出 1 km×1 km 网格的残差分布;最后将各项区划因子推算值图与相应的残差值图叠加得到 1 km×1 km 网格的广西水稻种植布局气候区划指标因子分布图。

得到了上述的广西水稻种植布局 4 项气候区划因子分布图,需要把它们叠加处理在一起才能制作广西水稻种植布局气候区划图。由于水稻种植布局各项气候区划指标因子的单位不一样(量纲不同),无法直接进行叠加,需要对各项气候区划指标因子进行无量纲化,而且专家打分法可以比较客观合理地解决难以采用技术方法进行定量分析的问题;因此,采用专家打分法,对广西水稻种植布局气候区划的各项分级指标进行分级打分,即给每一个分级指标都赋予一定的分值,如区划指标安全期活动积温  $\sum T$ ,当  $\sum T \geq 5600$  赋予分数值 16 分,  $5200 \leq \sum T < 5600$  赋予分数值 12 分,  $4800 \leq \sum T < 5200$  赋予分数值 8 分,  $\sum T < 4800$  赋予分数值 4 分;区划指标安全期天数  $D$ ,当  $D \geq 225$  赋予分数值 16 分,  $205 \leq D < 225$  赋予分数值 12 分,  $185 \leq D < 205$  赋予分数值 8 分,  $D < 185$  赋予分数值 4 分;其他 2 项气候区划指标的打分也如此类推,然后对各项区划分级指标分数值进行叠加处理得到总分数,根据该总分数的多少,并结合考虑必须同时满足的各项区划等级指标,最后将广西种植水稻分为迟熟双季稻适宜气候区(≥64 分)、中迟熟双季稻适宜气候区(48~64 分)、早中熟双季稻适宜气候区(32~48 分)、单季稻再生稻适宜气候区(16~32 分)等四个气候区域;并叠加广西的省级、县级行政边界以及县级以上行政点和经纬网,制作图例等,最后制作出广西水稻种植布局精细化气候区划专题图(图 1)。



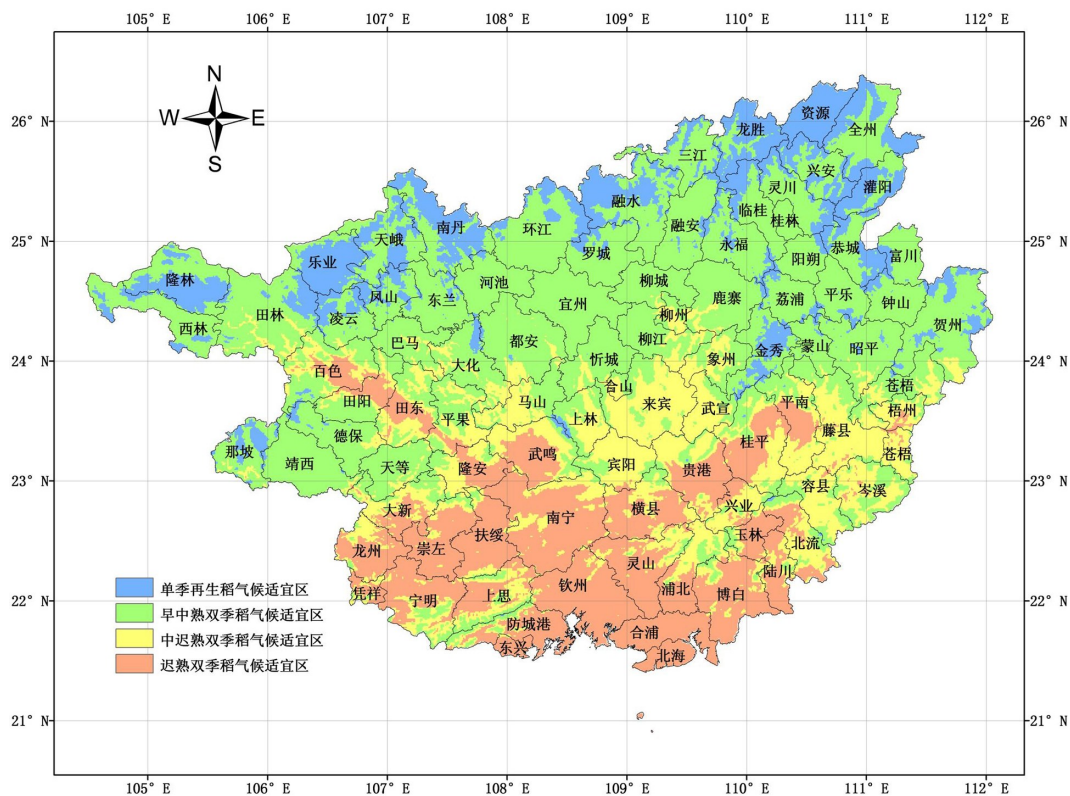


图 1 基于 GIS 的广西水稻种植布局精细化气候区划

Fig. 1. Map of climatic division for rice planting in Guangxi based on GIS.

2 区划结果分析与建议

迟熟双季稻适宜气候区:主要包括桂南大部分地区 and 右江河谷,即北海、合浦、钦州、灵山、防城、东兴、南宁、邕宁、武鸣、扶绥、横县、崇左、龙州、宁明、凭祥、玉林、博白、陆川等市县的大部分区域,以及贵港、桂平、平南、浦北、北流、兴业、隆安、平果、田东、田阳、百色、大新、上思等市县的部分区域。该区气候十分温暖,热量资源丰富,光照充足,双季稻安全生育期长,“双抢”农耗时间相对充裕,对双季水稻生长发育十分有利,利于高产稳产,因此本区适宜发展种植迟熟品种双季水稻,品种选择搭配以“迟熟搭迟熟”为主,早稻、晚稻两季全生育期相加不超过 250 d,早稻适宜播种期在 2 月下旬至 3 月上旬,晚稻在 7 月上旬至中旬初,最迟不超过 7 月 15 日播种。本稻区的主推品种建议:1)迟熟品种,特优 582、桂两优 2 号、新两优 6380、天优 3301、中浙优 1 号、Y 两优 1 号、丰两优 4 号、深优 9516、良丰优 339、特优 3813、特优 837、Y 两优 087、中浙优 8 号、Y 两优 302、深两优 5814;2)感光品种,泰丰优桂 99、博优 782、博优 1652、博Ⅲ优 273、博Ⅲ优 9611、美优 998。

中迟熟双季稻适宜气候区:主要包括桂中、桂南为主的少部分地区,即北流、容县、兴业、浦北、灵山、横县、贵港、桂平、平南、藤县、苍梧、梧州、岑溪、浦北、武宣、来宾、合山、象州、柳州、宾阳、上林、马山、武鸣、隆安、平果、田东、田阳、百色、大新、上思、宁明、龙州等市县的部分区域,以及博白、陆川、玉林、百色、田阳、田东、平果、柳江、鹿寨、忻城、都安、大化、巴马、田林等市县的部分区域。本区气候比较温暖,热量条件良好,光照较为充足,热量和光资源条件比较适中,双季水稻安全生育期较长,能满足双季水稻生长发育需要,对高产稳产较为有利,因此本区适宜种植发展中迟熟品种双季水稻,品种选择搭配以“迟熟搭中熟”、“中熟搭迟熟”、“中熟搭中熟”为主,早稻、晚稻两季全生育期相加不超过 240 d,早稻适宜播种期在 3 月中旬,晚稻在 7 月上旬播种,最迟不超过 7 月 10 日。本稻区的主推品种建议:1)迟熟品种,特优 582、桂两优 2 号、新两优 6380、天优 3301、中浙优 1 号、Y 两优 1 号、丰两优四号、深优 9516、良丰优 339、特优 3813、特优 837、Y 两优 087、中浙优 8 号、Y 两优 302、深两优 5814;2)中偏迟熟品种,淦鑫 688、天优华占、野香优 863、里优 6602。

早中熟双季稻适宜气候区:主要包括桂中部分

地区和部分桂北地区以及桂南极少数山区,即天等、靖西、田林、巴马、东兰、大化、都安、河池、宜州、环江、罗城、柳城、柳江、忻城、鹿寨、融安、三江、永福、临桂、桂林、灵川、阳朔、荔浦、平乐、恭城、全州、钟山、富川、昭平、蒙山、贺州等市县的大部分区域,以及苍梧、岑溪、藤县、平南、桂平、金秀、象州、柳州、全州、灌阳、兴安、融水、南丹、天峨、凤山、凌云、隆林、西林、那坡、大新、宾阳、上林、马山等市县的小部分区域。本区热量、光照略显不足,温光条件不理想,双季水稻安全生育期较短,遭受春季低温、秋季“寒露风”影响的概率偏大,对晚稻高产稳产不太有利,应尽可能减少“双抢”农耗时间,极力避免延迟晚稻种植时间,以免晚稻抽穗开花期遇上“寒露风”,影响其正常生长发育。因此,本区适宜种植发展早中熟品种双季水稻,品种选择搭配以“中熟搭早熟”、“早熟搭中熟”或“早熟搭早熟”为主,早稻、晚稻两季全生育期相加不超过 230 d,早稻适宜播种期在 3 月中旬末至下旬初,晚稻在 6 月下旬末至 7 月初播种,最迟不超过 7 月 5 日;本稻区的主推品种建议:1)早熟品种,淦鑫 206、株两优 02、株两优 4024、孟两优 838;2)中熟品种,五优 308;3)中偏迟熟品种,淦鑫 688、天优华占、野香优 863、里优 6602。

单季再生稻适宜气候区:主要包括桂北、桂西的高寒山区,即资源、龙胜、融水、南丹、天峨、乐业、隆林等县的大部分区域,全州、灌阳、兴安、灵川、临桂、永福、恭城、贺州、富川、金秀、三江、环江、凤山、凌云、罗城、田林、西林、那坡等县的小部分区域。本区海拔都比较高,双季水稻安全生育期很短,热量条件偏差,温光条件不足,易受春季低温、秋季寒露风的影响,对双季稻丰产稳产十分不利,但是完全能满足单季稻再生稻所需要的热量和光照条件,安全生长期也适宜单季再生稻生长发育期的要求,因此,本区适宜种植发展单季稻再生稻。为了提高热量、光照和水的有效性,单季稻再生稻种植时间的安排应考虑尽量将单季稻再生稻的主要发育期安排在温光水条件匹配良好的时期,以利于最大限度提高单季再生稻产量和品质。本稻区的主推品种建议:特优 582、桂两优 2 号、中浙优 1 号、Y 两优 1 号、丰两优 4 号、Y 两优 087、中浙优 8 号、Y 两优 302、深两优 5814 等;蓄留再生稻的中稻品种全生育期不超过 135 d,其他单季稻区选择迟熟优良水稻品种。

### 3 结论与讨论

本文利用 GIS 技术和气候资源细网格模拟分析方法,建立气候区划指标因子的空间模拟分析模型,利用所建模型对区划指标因子进行细网格模拟

推算分析,并对其残差部分进行空间内插订正,实现区划指标因子分布的细化,突破了传统区划中资料每县一站、以点代面、精度偏低的局限,大大提高了区划的精度和准确度及实用性。利用 GIS 新技术实现的水稻种植布局细网格气候区划,并绘制广西水稻种植布局的精细化气候区划专题图,其优势在于突破了以往气候因子只能描述其在水平方向变化的局限,能够直观地反映出区划指标因子随地理位置和海拔高度的立体变化特征,比较清晰反映出地形、地貌对气候区划因子的影响,比较能体现无测站区域的气候资源空间分布特征。GIS 技术的应用使水稻种植布局气候区划结果,由基于行政基本单元发展为基于相对均质的地理细网格单元,即打破了行政区域的限制(前人研究绘制的农作物种植区划图最细只划分到县级行政区域<sup>[24]</sup>),实现了区划结果的精细化(精确到 1 km×1 km 细网格点),使区划结果比传统作物气候区划<sup>[19]</sup>更细致、更客观、更精确、更实用,更符合广西水稻种植发展情况,而且还针对区划结果,即迟熟双季稻、中迟熟双季稻、早中熟双季稻、单季稻再生稻等四个适宜气候区域的气候特点,分别提出各气候区域的早稻、晚稻品种的合理搭配和具体的主推新品种,以及早稻、晚稻的适宜播种期等建议,对今后促进广西水稻种植结构和区域布局优化以及品种合理搭配,提高气候资源利用率,促使广西水稻生产朝更高产稳产优质高效的方向发展具有重要的指导意义。

研究水稻等农作物的种植布局气候区划,区划指标的确定是关键。魏兴萍等<sup>[21]</sup>仅考虑以年平均气温作为主要区划指标,应用 GIS 平台对重庆市制作水稻种植气候区划。涂方旭<sup>[22]</sup>对广西水稻气候区划的探讨,也仅选择了水稻安全生长季作为区划指标,仅仅选择单个因子作为农作物气候区划指标,显然其区划结果的合理客观性是有所欠缺的。魏丽等<sup>[20]</sup>以 10℃~20℃有效积温和抽穗-灌浆成熟期日平均气温≥27℃的天数作为气候区划指标,运用 GIS 研究江西省优质早稻种植气候区划,与前者相比,其合理客观性较高。本文研究广西水稻种植合理布局气候区划,主要考虑选择影响水稻生长发育及产量的 4 个关键气候因子作为区划指标,即选择对广西水稻生长发育及产量有重要影响的热量、光照条件,以及对水稻生长发育有重要制约作用的因子(水稻安全生育期天数),选择确定的气候区划指标相对来说趋于客观合理;该区划指标的确定理论上具有客观合理性,实践上又具有经验性,应用于水稻生产中具有较好的科学指导性、实用性和可行性。然而没有将降雨量因子纳入气候区划指标,主要由

于降雨量与水稻产量的统计分析结果相关性不显著,而且广西绝大部分水稻均种植在有水灌溉的地方,一般情况下可以满足水稻生长发育对水分条件的需求;若强行将降雨量纳入气候区划指标,则可能会导致区划结果不够合理,比如,某地区降雨不满足双季稻需求,但是实际上该地区由于灌溉条件满足,确实适宜种植双季稻。如果将降雨量、灌溉条件等综合因素同时考虑到区划指标内,水稻种植布局区划结果的将更综合完善,但是由于其本身的复杂性及技术可行性问题,影响了其在目前的研究应用,在未来的相关系列研究中,这方面研究值得进一步探讨。

在影响水稻生长发育和产量的所有因素中,气候环境条件始终是最重要的因素。因此,本区划主要考虑水稻的生态气候条件,选择影响水稻生长发育及产量的重要气候因子作为区划指标。实际上水稻种植除了受气候条件影响以外,还受土壤类型、土壤肥力等其他生态环境因素的影响,目前的水稻种植布局区划研究主要考虑水稻的生态气候条件,还没有把广西范围的土壤类型、土壤现状、土地利用状况等环境条件信息融合进去。在水稻实际生产过程中,除了受气候、土壤等生态条件影响外,还受地形地貌、水域、山体、城市居民用地等多种条件的制约,并非气候条件适宜种植的地方就可用于水稻生产,如水稻不宜种植在石山、林区、旱坡地、水域、城市居民用地等区域。因此,研究水稻等农作物种植布局气候区划时,还可考虑在充分运用GIS基础上,把GIS(地理信息技术)、RS(卫星遥感技术)、GPS(全球定位技术)三者结合起来,对广西的土地利用现状进行遥感分类,解译出广西土地利用类型,并运用到水稻种植布局气候区划中;同时根据绿色农业、绿色食品、绿色水稻发展的战略目标,综合考虑气候生态条件、土地利用规划状况、土壤类型、土壤肥力、产地环境(主要是大气、水、土壤)质量检测情况等方面的精细化综合信息,开展生态绿色水稻种植布局的综合区划研究,区划结果将更加深化、细化,更为客观、准确和综合实用。关于这些方面的综合研究有待今后进一步探讨和不断完善。

## 参考文献:

- [1] Pollak L M, Corbett J D. Using GIS datasets to classify maize-growing regions in Mexico and Central America. *Agron J*, 1993, 85: 1133-1139.
- [2] Bazgeer S, Khalili A. Agroclimatological zoning of wheat in dry land farming (A case study of Kurdistan Province). *Singapore J Trop Geograph*, 1998, 19: 39-50.
- [3] Inthavong T, Kam S P, Hoanh C T, et al. Implementing the FAO methodology for agroecological zoning for crop suitability in Laos: A GIS approach// Fuskai S, Basnayake J. Increased Lowland Rice Production in the Mekong Region: Proceedings of an International Workshop. Vietiane, Laos, 2001: 292-300.
- [4] Patel N R, Mandal U K, Pande L M. Agro-ecological zoning system: A remote sensing and GIS perspective. *J Agrometeorol*, 2000, 2: 1-13.
- [5] Rad R B, Rahimi M. Agroclimatological classification by using GIS (a case study of North West of Iran). *Geophys Res Abstr*, 2003, 5: 8.
- [6] Greetz S, Raes D, Garcia M, et al. Agro-climatic suitability mapping for crop production in the Bolivian Altiplano: A case study for quinoa. *Agric Forest Meteorol*, 2006, 139: 399-412.
- [7] Kara T, Guler M. Agro-Ecological zoning by GIS: A case study of the Bafra and Carsamba plains in Turkey. *Asian J Chem*, 2007, 19: 2277-2284.
- [8] Bagherzadeh A, Daneshvar M M R. Physical land suitability evaluation for specific cereal crops using GIS at Mashhad plain, Northeast of Iran. *Front Agric China*, 2011, 5: 504-513.
- [9] Arayaa A, Keesstrab S D, Stroosnijderb L. A new agro-climatic classification for crop suitability zoning in northern semi-arid Ethiopia. *Agric Forest Meteorol*, 2010, 150: 1057-1064.
- [10] Ye Y, He F, Zhang X Y, et al. A GIS-based study on suitability estimation of tea cultivation in Qimen county. *Agric Sci Technol*, 2011, 12: 149-152.
- [11] Qiu B W, Chi T H, Wang Q M. Fruit tree suit-ability assessment using GIS and multi-criteria evaluation. *Transact CSAE*, 2005, 21: 96-100.
- [12] 周治国, 曹卫星, 朱艳, 等. 基于GIS的作物生产管理信息系统. *农业工程学报*, 2005, 21(1): 114-118.
- [13] 冯晓云, 王建源. 基于GIS的山东农业气候资源及区划研究. *中国农业资源与区划*, 2005, 26(2): 60-62.
- [14] 何燕, 李政, 廖雪萍. 基于GIS的巴西陆稻IAPAR-9种植气候区划研究. *应用气象学报*, 2007, 18(2): 219-223.
- [15] 刘权. GIS在河流洪泛区灾害监测中应用研究. *地理科学*, 2002(6): 712-716.
- [16] 何燕, 李政, 徐世宏, 等. GIS支持下的广西早稻春季低温冷害区划研究. *自然灾害学报*, 2009, 10(5): 178-182.
- [17] 何燕, 李政, 钟仕全, 等. 广西晚稻低温冷害空间分析模型构建及其区划. *地理研究*, 2010(6): 1037-1044.
- [18] 何燕, 李政, 徐世宏, 等. GIS在水稻“寒露风”冷害监测预警中的应用. *灾害学*, 2012(1): 68-72.
- [19] 朱勇, 段长春, 王鹏. 云南杂交水稻种植的气候优势及区划. *中国农业气象*, 1999, 20(2): 21-24.
- [20] 魏丽, 殷剑敏, 王怀清. GIS支持下的江西省优质早稻种植气候区划. *中国农业气象*, 2002, 23(2): 27-31.
- [21] 魏兴萍, 张艳军. 基于格网的重庆市水稻种植的农业区划. *现代农业科学*. 2009, 16(6): 186-187.
- [22] 涂方旭. 对广西水稻气候区划的探讨. *广西气象*, 2006, 27(1): 33-36.
- [23] 张灿权, 陈萍, 聂根新. 基于GIS的铜鼓绿色水稻种植区划. *江西农业学报*, 2008, 20(8): 19-20.
- [24] 广西壮族自治区气象局, 农业气候区划协助组. 广西农业气候资源分析与利用. 北京: 气象出版社, 1988: 108-135.
- [25] 广西壮族自治区气候中心. 广西气候. 北京: 气象出版社, 2007: 90-104.