

王锐婷,邹雨伽,张玉芳. 基于 GIS 的一季稻县级精细化区划——以四川省旺苍县为例[J]. 江苏农业科学,2020,48(15):273-280.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2020.15.050

# 基于 GIS 的一季稻县级精细化区划 ——以四川省旺苍县为例

王锐婷<sup>1,2</sup>, 邹雨伽<sup>1</sup>, 张玉芳<sup>1,2</sup>

(1. 中国气象局成都高原气象研究所/高原与盆地暴雨旱涝灾害四川省重点实验室/四川省农业气象中心,四川成都 610072;

2. 南方丘区节水农业研究四川省重点实验室,四川成都 610072)

**摘要:**以四川省旺苍县为代表,基于旺苍县及周边共 30 个气象台站 1980—2018 年气象数据、旺苍县 1:25 万地理信息数据和数字化土壤图,通过分析旺苍及周边区县一季稻气象产量与各生育期气象条件关系,结合生产实际选取 4 个气候因子、3 个地形因子、1 个土壤因子作为生态区划指标进行旺苍县一季稻种植区划。结果表明,旺苍县一季稻种植适宜区、次适宜区、不适宜区面积分别占县域面积的 33.96%、40.34%、25.70%,其中一季稻种植适宜区主要分布于东西向槽谷带及东北西南向分布的正源乡、英萃镇、檬子乡等部分低海拔地区,可利用这部分区域气候资源、地形资源及土壤资源优势,提高水稻种植水平,发展水稻现代化生产。

**关键词:**一季稻;种植区划;气候因子;地形;土壤

**中图分类号:**S127 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2020)15-0273-08

水稻是四川省旺苍县粮食生产主导产业之一,该县常年水稻生产面积约 0.87 万  $\text{hm}^2$ ,产量约 6.8 万  $\text{t}^{[1]}$ ,但因旺苍县地形复杂,境内气候差异大,水稻现代农业项目的开展推进受到了限制。作为因地制宜配置农业生产布局的科学依据,通过对气候资源分析评定及分区描述,农业气候区划是保证农业生产高产稳产的关键<sup>[2-3]</sup>。前期农业气候区划研究主要通过包括聚类分析法、最优分割法、线性规划法、模糊数学法和灰色系统关联分析法等的数理方法开展<sup>[4]</sup>,现今随着遥感及 3S 等技术的发展应用,区划方法更加多样,区划精度也得到了极大提高。当前关于水稻种植的农业气候区划已有较多研究,杜朝正依托 GIS 技术对中国水稻产量时空变化进行了研究<sup>[5]</sup>。杨沈斌等分别利用模糊数学分层聚类方法和最大熵模型研究模拟了我国水稻种植分布<sup>[6-7]</sup>,张晓梅等分别就西南单季稻区、苏皖鄂地区一季稻开展了较大片区的区划<sup>[8-9]</sup>。相关学者

针对不同省(市)地区的水稻区划也基于不同方法开展了众多研究<sup>[10-17]</sup>。目前,水稻区划研究多是对省(市)一级,用以指导县一级水稻生产布局较为粗糙。同时前人水稻种植区划研究主要针对气候因子,缺少影响作物生产的土壤因素的考虑,且随着农业生产机械化发展,地形因子也是农业规范化生产需要考虑的重要一环。

本研究以四川省旺苍县为例,结合数理统计方法,综合考虑气象、土壤、地形对旺苍一季稻生产的影响,构建旺苍县一季稻种植区划指标,基于 GIS 平台开展旺苍县一季稻种植区划研究,旨在为旺苍县水稻产业布局及发展提供参考建议。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区域概况

旺苍县坐落于四川盆地北缘( $105^{\circ}58'24'' \sim 106^{\circ}46'2''\text{E}$ ,  $31^{\circ}58'45'' \sim 32^{\circ}42'24''\text{N}$ ),海拔 380 ~ 2 281 m,行政区域面积 2 987  $\text{km}^2$ 。旺苍县地形地貌复杂,高度悬殊,地势北高南缓,腹部低平。其中部为河谷走廊,有一条东西走向的槽谷地带横贯全境;北部属高寒山区,喀斯特地貌特征明显;南部属中山区,崇山突兀,壑谷纵横。旺苍气候温和,属亚热带湿润季风气候,垂直气候明显,气温年、日差较小,四季分明。年平均气温为 16.2  $^{\circ}\text{C}$ ,年平均降水量为 1 136.1 mm,雨量充沛但时空分布不均,年平

收稿日期:2019-08-19

基金项目:四川省应用基础研究(编号:2018JY0341);高原与盆地暴雨旱涝灾害四川省重点实验室项目(编号:2018-重点-05-01、2018-青年-30)。

作者简介:王锐婷(1983—),女,四川成都人,硕士,工程师,主要从事气象为农服务工作管理。E-mail:12836830@qq.com。

通信作者:张玉芳,硕士,高级工程师,主要从事灾害风险评估及区划研究。E-mail:75963549@qq.com。

均无霜期为 262.5 d,年平均日照时数为 1 321.6 h。

1.2 数据来源

气象资料取自旺苍县及周边市(县)共 30 个气象站点 1980—2018 年逐日观测数据,包括日平均气温、日最低气温、日最高气温、日照时数、雨日数、降水量及各站点经度、纬度、海拔等地理属性数据。一季稻生产数据包括旺苍县及周边青川县、苍溪县、剑阁县 4 个站点 1980—2017 年产量数据及生育期观测数据,其中产量数据来自《四川省统计年鉴》,一季稻生育期观测数据来自《四川省农业气象观测档案》。地理信息数据从四川省地理信息中心提供的 1:25 万数字高程模型(DEM)提取,土壤数据取自《旺苍土壤》,通过 ArcGIS 平台进行栅格化处理。

1.3 数据处理

根据水稻生育期观测资料,将旺苍县一季稻全生育期划分为 5 个主要生育阶段(表 1),并计算各生育阶段对应气象要素值。为消除造成作物产量波动,如品种特性、农业生产技术改变等非气象因子的影响,本研究通过 5 点滑动平均法提取气象产量并在此基础上展开研究<sup>[18]</sup>。

表 2 旺苍县一季稻气象产量与关键生育期气象因子的相关性分析

生育阶段	相关系数					
	平均气温	最低气温	最高气温	降水量	日照时数	雨日数
移栽—分蘖期	0.007	0.062	-0.058	0.217	-0.059	0.038
分蘖—拔节期	-0.030	0.058	-0.080	0.055	-0.101	0.232 *
拔节—孕穗期	-0.303 **	-0.158	-0.342 **	0.225 *	-0.385 **	0.176
孕穗—抽穗期	-0.134	-0.049	-0.205	0.045	-0.163	0.130
抽穗—成熟期	0.156	0.086	0.212	-0.234 *	0.169	-0.360 **

注:“\*”表示在 5% 水平上显著相关,“\*\*”表示在 1% 水平上显著相关。表 6 同。

与旺苍县一季稻气象产量呈显著相关的气象因子共有 7 个,为简化气象指标数量,通过主成分分析提取出 2 个综合能反映气象条件对一季稻产量的影响的主成分(表 3),累积方差贡献率为 77.296%。

表 3 旺苍县一季稻气候因子主成分方差贡献率

主因子	方差贡献率 (%)	累积方差贡献率 (%)
F <sub>1</sub>	50.136	50.136
F <sub>2</sub>	27.160	77.296

从表 4 可以看出,第 1 主成分主要反映水稻生产拔节—孕穗期的热量条件,其影响程度由大到小依次是拔节—孕穗期最高气温、拔节—孕穗期平均

表 1 旺苍县一季稻生育阶段划分

生育阶段	生育期时间 (月-日)
移栽—分蘖期	05-21—06-10
分蘖—拔节期	06-11—06-30
拔节—孕穗期	07-01—07-20
孕穗—抽穗期	07-21—08-20
抽穗—成熟期	08-21—09-30

1.4 指标确定

1.4.1 一季稻种植气候指标 对旺苍县及青川县、苍溪县、剑阁县一季稻气象产量及对应生育期气象要素进行相关分析。分析结果(表 2)表明,旺苍县一季稻气象产量与拔节—孕穗期、孕穗—抽穗期平均气温、最低气温及最高气温均呈负相关,与抽穗—成熟期呈正相关,但除拔节—孕穗期平均气温及最高气温外均未达到显著水平。此外,与气象产量呈显著正相关( $P<0.05$ )的气象要素有分蘖—拔节期雨日数及拔节—孕穗期降水量;拔节—孕穗期日照时数及抽穗—成熟期降水量、雨日数与一季稻气象产量呈显著负相关( $P<0.05$ )。

气温、拔节—孕穗期日照时数;第 2 主成分综合反映抽穗—成熟期的降水情况,其影响较高因子为抽穗—成熟期降水量及雨日数。

表 4 气候因子主因子载荷系数

生育阶段	气象因子	载荷系数	
		主成分 F <sub>1</sub>	主成分 F <sub>2</sub>
分蘖—拔节期	雨日数(d)	-0.540	-0.050
拔节—孕穗期	平均气温(℃)	0.881	0.117
拔节—孕穗期	最高气温(℃)	0.952	0.131
拔节—孕穗期	降水量(mm)	-0.509	0.195
拔节—孕穗期	日照时数(h)	0.812	0.061
抽穗—成熟期	降水量(mm)	-0.153	0.891
抽穗—成熟期	雨日数(d)	-0.810	0.846

综合主成分分析结果,研究选取水稻拔节—孕穗期最高气温  $X_1$ 、拔节—孕穗期日照时数  $X_2$ 、抽穗—成熟期降水量  $X_3$ 、抽穗—成熟期雨日数  $X_4$  作为旺苍县一季稻气候区划因子。结合旺苍县实际情况及水稻生长研究,选取气候区划指标见表 5。

以旺苍县及周边区县共 30 个气象站点气象资料为基础,结合对应站点经度、纬度、海拔高度,建立旺苍县一季稻区划气候要素空间小网格推算模型(表 6),进行研究区域气象要素插值处理。

1.4.2 水稻种植地形指标 地形对农业生产的影响主要通过海拔、坡度、坡向。水稻生育期随海拔升高有一定程度延长<sup>[19-20]</sup>,产量、有效穗数和穗粒数随着海拔的升高呈先增后减趋势<sup>[21]</sup>。在一定范

围内,海拔升高可减少作物病虫害发生,同时加大昼夜温差,促进光合产物积累<sup>[22]</sup>,但海拔过高,热量条件则不能满足植物正常生长需要。研究指出不同坡向因接受的日照时间和太阳辐射强度不同产生小气候差异,其中南坡和西南、东南向阳坡太阳辐射多,热量多,昼夜温差适宜,利于植物生长发育,北坡相反,东坡和西坡介于二者之间<sup>[23]</sup>。在地势较低的平坝地区,田块面积大,利于农事活动开展,但土壤质地相对黏重,田间通透性差,对流也差,在大水大肥田间管理下易受到病虫害的袭击;农业生产中坡度过大,不易保水保肥,肥水管理不易。综上所述,结合旺苍县当地情况,水稻区划地形因子指标见表 7。

表 5 旺苍县一季稻区划气候指标

生育阶段	气象因子	适宜区	次适宜区	不适宜区
拔节—孕穗期	最高气温 $X_1$ (℃)	27 ~ 30	25 ~ <27、>30 ~ 33	<25、≥33
拔节—孕穗期	日照时数 $X_2$ (h)	≥80	60 ~ <80	<60
抽穗—成熟期	降水量 $X_3$ (mm)	240 ~ 260	200 ~ <240、>260 ~ <300	<200、≥300
抽穗—成熟期	雨日数 $X_4$ (d)	10 ~ 20	5 ~ <10、>20 ~ <25	<5、≥25

表 6 旺苍县一季稻气候区划空间分析模型

推算方程	相关系数( $R$ )	$F$ 值
$X_1 = 0.329i - 0.072j - 0.002z - 0.991$	0.879 *	29.558 **
$X_2 = 7.489i - 0.220j - 0.016z - 687.811$	0.879 *	29.511 **
$X_3 = 12.141i + 32.644j + 0.004z - 2\ 106.880$	0.590 *	4.623 *
$X_4 = -0.749i - 0.287j + 0.007j + 104.170$	0.861 *	24.887 **

式中: $i$  为经度; $j$  为纬度; $z$  为海拔高度。

表 7 旺苍县一季稻种植地形因子区划指标

区划等级	海拔 (m)	坡度 (°)	坡向 (°)
适宜区	400 ~ 600	5 ~ 15	南坡、东南坡、西南坡
次适宜区	20 ~ <400、>600 ~ <1 200	2 ~ <5、>15 ~ <25	东坡、西坡
不适宜区	<20、≥1 200	<2、≥25	北坡、东北坡、西北坡

1.4.3 土壤酸碱度 土壤作为影响作物生产的重要因素之一,pH 值低于 5.0 或高于 7.0 会显著影响水稻的株高、每穗实粒数、结实率和单株产量,pH 值在 5.0 ~ 6.0 时最适宜水稻生产<sup>[24]</sup>。

1.5 区划等级评价方法

1.5.1 适宜度评价方法 研究评价方法采用基于 GIS 加权指数求和法[公式(1)],将各要素适宜、次适宜和不适宜指标分别赋值 1、2、3,得到不同因子层适宜度指数并标准化后计算旺苍县水稻综合适

宜度指数<sup>[25]</sup>,基于 GIS 平台通过自然断点分级法将旺苍县划分为水稻种植适宜、次适宜、不适宜 3 个等级区域。

$$V = \sum_{i=1}^n W_i \cdot D_i。$$

(1)

式中: $V$  为评价因子的值; $W_i$  为指标  $i$  的权重; $D_i$  为指标  $i$  的标准化值; $n$  为评价指标的个数。

1.5.2 指标因子权重确定

1.5.2.1 气象因子权重确定 如公式(2) ~ 公式(4),旺苍一季稻种植区划气候指标权重通过主成

分分析所得各因子方差贡献率确定<sup>[26]</sup>：

$$W_{Fi} = \frac{\lambda_i}{\sum_{i=1}^2 \lambda_i}; \tag{2}$$

$$W_{xi} = |a_{ij}| W_{Fj}, i = 1, 2, 3, 4, j = 1, 2, 3; \tag{3}$$

$$W_i = \frac{W_{xi}}{\sum_{i=1}^4 W_{xi}}. \tag{4}$$

式中： $W_{Fi}$ 为第*i*个主因子的权重， $\lambda_i$ 为主因子 $F_i$ 的方差贡献率，气候因子 $x_i$ 的权重为 $W_{xi}$ ， $a_{ij}$ 为表4中第*i*行、第*j*列的系数，对 $W_{xi}$ 进行标准化处理即得气候因子权重 $W_i$ ，旺苍一季稻气候因子权重计算结果见表8。

表 8 旺苍县一季稻区划气候因子权重

主成分因子	主成分因子权重( $W_{Fi}$ )	气象因子	气象因子权重( $W_{xi}$ )	归一化气象因子权重( $W_i$ )
$F_1$	0.648 6	$X_1$	0.617 5	0.351 9
		$X_2$	0.526 7	0.300 2
$F_2$	0.351 4	$X_3$	0.313 1	0.178 4
		$X_4$	0.297 2	0.169 5

1.5.2.2 综合指标权重确定 为综合考虑各要素在旺苍县一季稻种植区划中的贡献，引入层次分析法(AHP)建立适宜度评价体系，通过构建判断矩阵并对矩阵一致性进行检验，得到旺苍县一季稻种植区划指标权重(表9)<sup>[27]</sup>。

表 9 旺苍县一季稻种植区划指标权重

因子类别	因子类别权重	因子	因子类别内权重
$B_1$	0.581 6	拔节—孕穗期最高气温( $X_1$ )	0.351 9
		拔节—孕穗期日照时数( $X_2$ )	0.300 2
		抽穗—成熟期降水量( $X_3$ )	0.178 4
		抽穗—成熟期雨日数( $X_4$ )	0.169 5
$B_2$	0.309 0	海拔( $X_5$ )	0.539 6
		坡度( $X_6$ )	0.297 0
		坡向( $X_7$ )	0.163 4
$B_3$	0.109 4	土壤 pH 值( $X_8$ )	1.000 0

2 结果与分析

2.1 气候区划

旺苍县一季稻种植气候区划见图1，一季稻种植气候不适宜区主要集中在旺苍县北部包括万家乡、天星乡、福庆乡、燕子乡、盐河乡、国华镇、鼓城乡、檬子乡、英萃镇、正源乡、水磨乡、大河乡等部分海拔较高区域。这部分地区水稻拔节—孕穗期内

日照时数在65~80 h，热量条件偏差，影响水稻幼穗分化，同时抽穗成熟期雨日数偏多，在25~30 d，对水稻扬花授粉有一定不利影响。水稻种植适宜区主要位于旺苍县东西走向的槽谷带及北部海拔较低区域，该区域在水稻拔节孕穗期日照时数大于80 h，且平均最高温度低于31 ℃，光热适宜且充足；同时降水充沛，能满足水稻生长生殖对水分需求，抽穗成熟期的雨日数15~25 d，对水稻病虫害发生发展无明显促进作用，水热匹配良好。

2.2 地形区划

旺苍县一季稻种植地形区划见图2，整体南部较北部区域更利于一季稻种植，地形生产适宜区主要集中在东西向槽谷带及以南部分地区，这部分地区海拔多介于400~600 m，阳坡为主，昼夜温差较阴坡利于水稻干物质累积，有助于品质提升，坡度多介于5~15°，利于肥水控制及农事活动开展。不适宜区主要集中在旺苍县北部高寒山区，该区域海拔较高热量条件差，尤其北坡为主向的阴坡最为明显，坡度多介于30°~70°之间，地势陡峭，不利于水肥保持及水稻集约化生产。

2.3 土壤区划

旺苍县农业土壤主要分为中山黄壤土、中低山石灰性紫色土、低山中性紫色土、平坝灰棕潮田土、中山鱼眼沙黄壤土5个类别。其中，中山鱼眼沙黄壤土区分布在县境东北部中山地区，pH值介于5.5~6.5，该区域为水稻种植土壤适宜区；水稻种植土壤次适宜区包括位于县境中部、西北部低中山区的中山黄壤土区以及广泛分布于县境中南部低山中性紫色土，其pH值分别为介于4.5~5.5及7~7.5。水稻种植不适宜区在县境南部，土壤类型以中低山石灰性紫色土区为主，pH值大于7.9，碱性偏高(图3、图4)。

2.4 综合区划评述

基于GIS平台对气候、地形、土壤标准化指标进行加权计算后通过自然断点法得到旺苍县水稻种植综合区划(图5)，并进行三维化让区划更为直观(图6)。统计可知，旺苍县水稻种植适宜区面积约1 014.33 km<sup>2</sup>，占全县县域面积的33.96%，主要位于中部东西向槽谷带包括白水镇、尚武镇、嘉川镇、东河镇、黄洋镇、普济镇、三江镇、金溪镇、大德乡部分地区，及东北—西南向分布的正源乡、英萃镇、檬子乡部分海拔较低地区。种植适宜区域一季稻生育期内各气象要素匹配良好，土壤酸碱度适宜，地

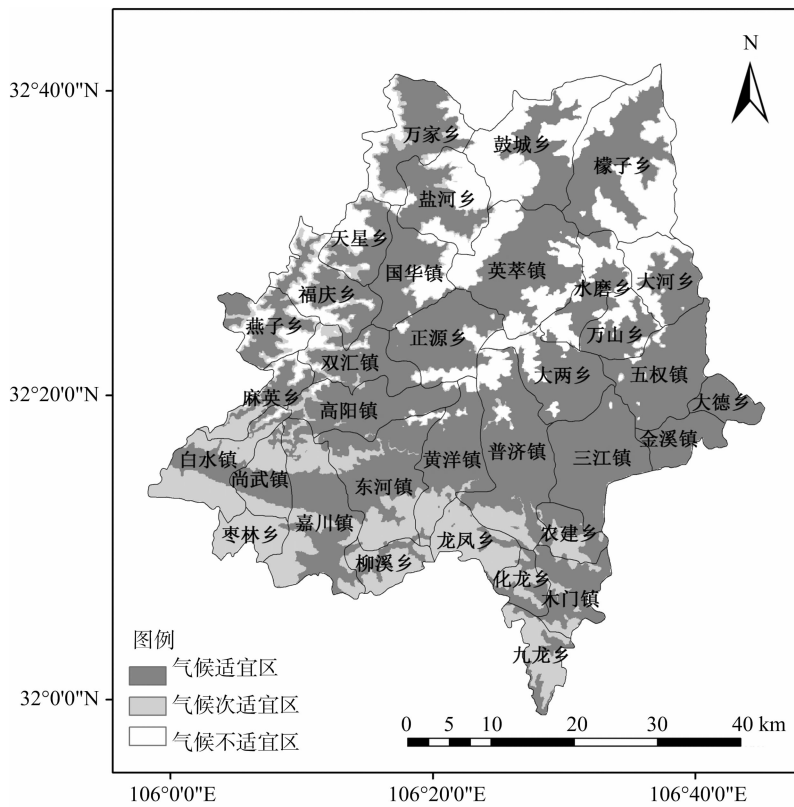


图1 旺苍县一季稻生产气候区划

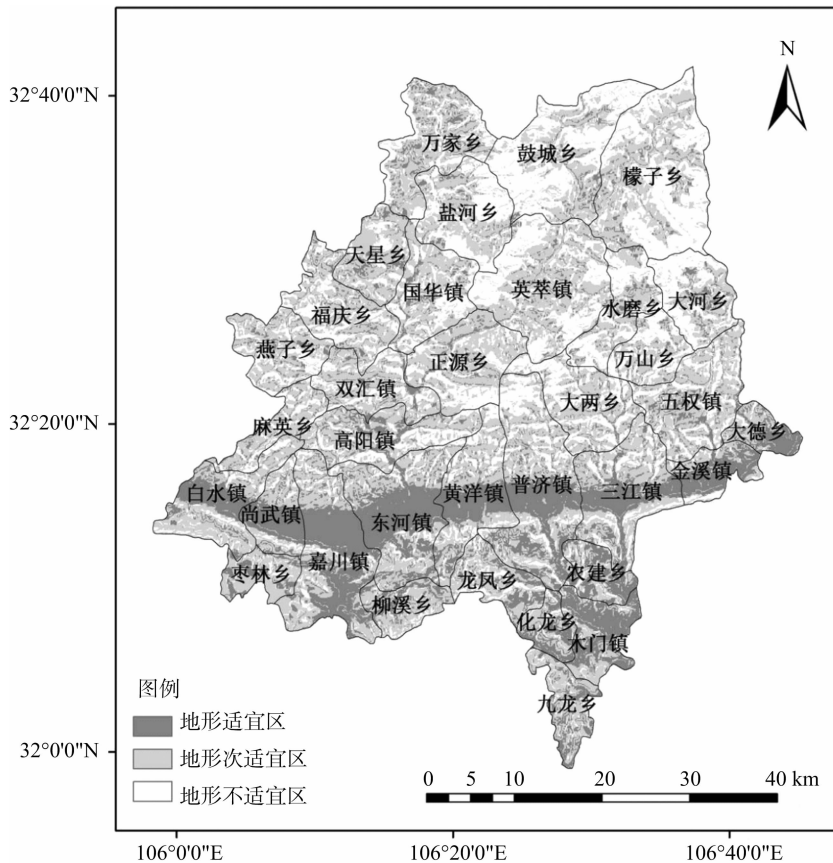
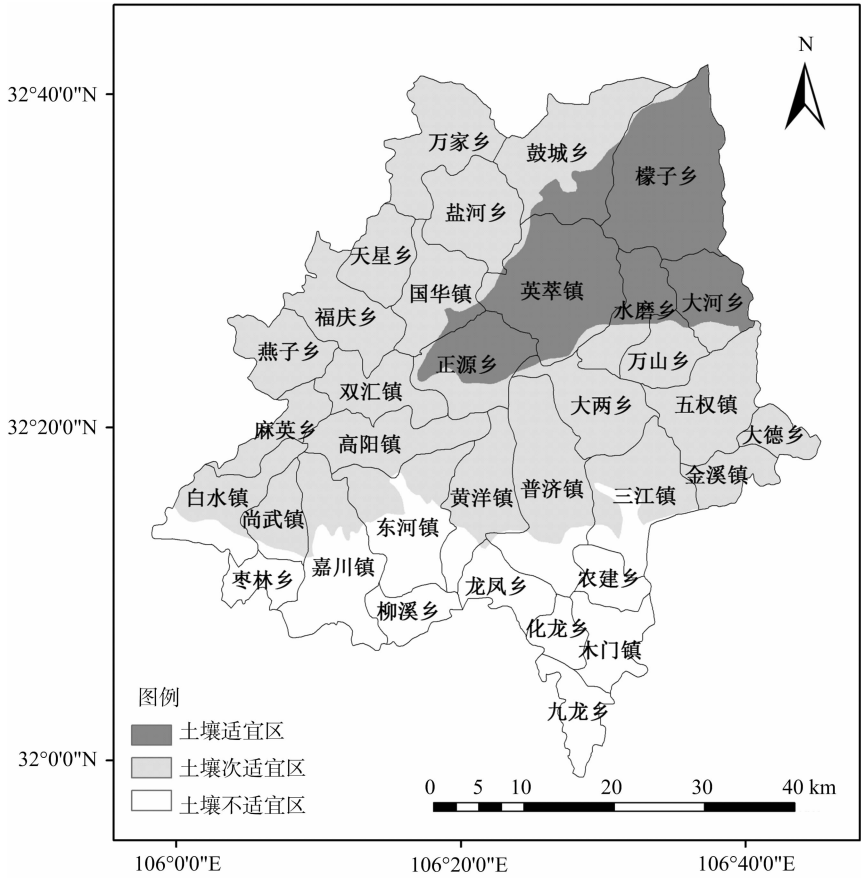
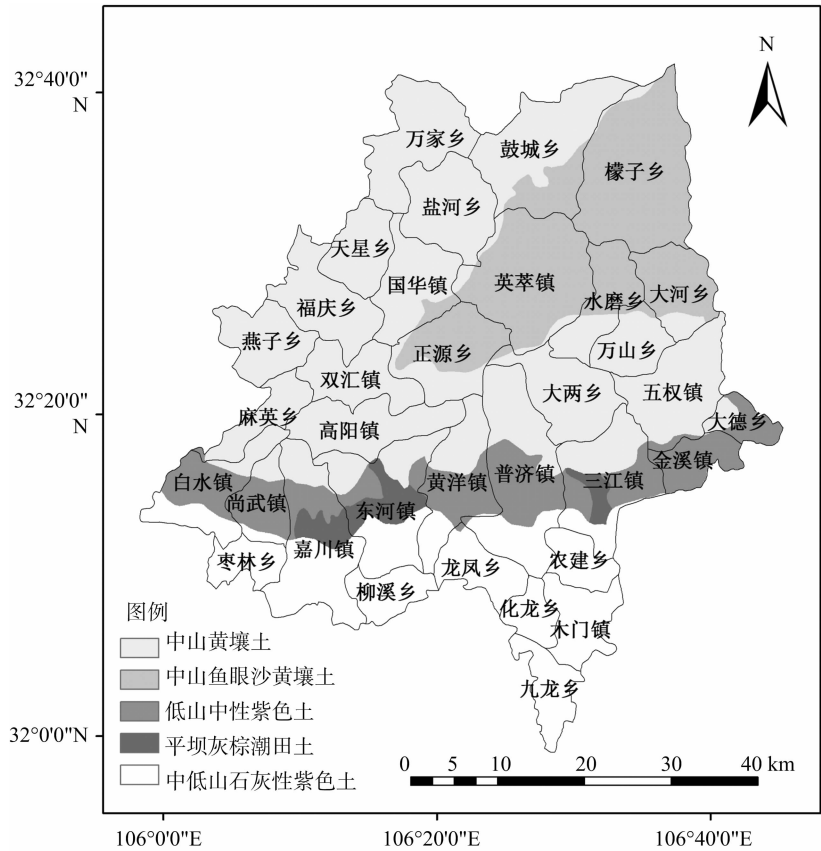
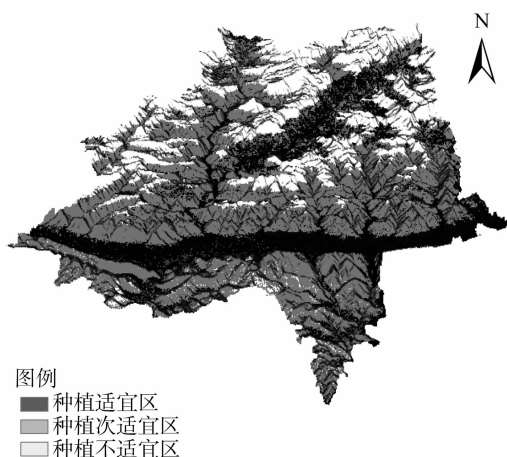
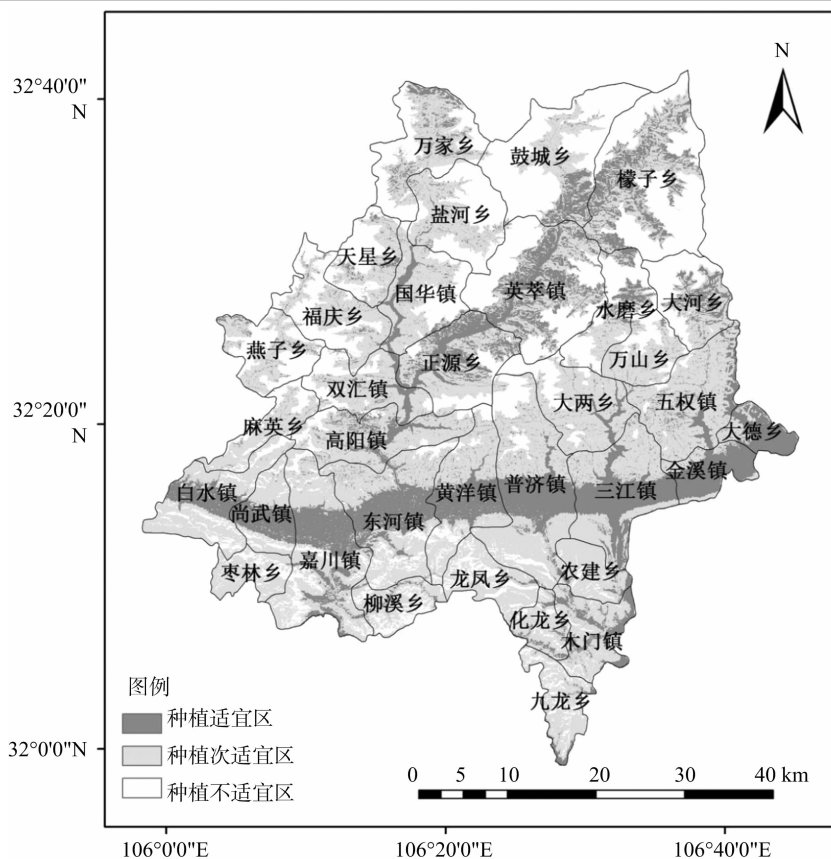


图2 旺苍县一季稻生产地形区划





主要因素为地形地势及土壤因子,该区域海拔多在 600 ~ 1 200 m,热量条件相对较差,坡度略陡,生产活动开展有一定限制,同时土壤 pH 值偏高,水稻生产相对适宜区不稳定。

一季稻种植不适宜区域面积占旺苍县面积的25.70%,约767.53 km<sup>2</sup>。该区域径向分布于万家乡、天星乡、福庆乡、燕子乡、盐河乡、国华镇、鼓城乡、檬子乡、大河乡、水磨乡、英萃镇、正源乡、万山乡、大两乡等部分地区。不适宜地区海拔多高于1 200 m,光热资源差,在一季稻抽穗期一成熟期内气象条件利于病虫害发生发展,土壤pH值偏低,地势较陡峭,水肥保持及管理不易,机械化生产困难,不适宜发展水稻生产。

### 3 结论与讨论

一季稻是旺苍县主要粮食作物,本研究通过对旺苍县一季稻多年气象产量及关键生育期气象要素进行相关性分析,结合主成分分析选取水稻拔节—孕穗期最高气温、拔节—孕穗期日照时数、抽穗—成熟期降水量及抽穗—成熟期雨日数共4个气象因子作为水稻种植区划气象指标,并建立气象要

形地势利于水土保持及农事活动开展,大面积地块也利于机械化生产开展,正常年景下一季稻生产能获得优质高产。

一季稻种植次适宜区面积约 1 025. 14 km<sup>2</sup>, 占旺苍县面积的 40. 34%, 分散较广, 主要分布在旺苍县槽谷带周边区域及西北 - 东南向万家乡、盐河乡、天星乡、国华镇、双汇镇、麻英乡等部分地区。次适宜区相对于水稻生产适宜区, 限制水稻生产的

素空间推算模型。综合考虑气象因子、地形因子及土壤类型,通过层次分析法确定各要素权重,基于 GIS 加权指数求和法及自然断点法开展旺苍县水稻种植区划研究。区划结果,水稻种植适宜区、次适宜区、不适宜区面积分别占旺苍县域面积的 33.96%、40.34%、25.70%,适宜区主要分布于东西向槽谷带及东北—西南向分布的正源乡、英萃镇、檬子乡部分地区,可利用这部分区域气候资源、地形资源及土壤资源优势,提高水稻生产种植水平,发展水稻现代化生产。次适宜区分布于旺苍县槽谷带周边区域及西北—东南向万家乡、盐河乡、天星乡、国华镇、双汇镇等部分地区,该区域水稻生产较适宜区不稳定,地形地势及土壤类型是主要限制因子,可通过土壤改良提升生产力,但不适于大面积产业化水稻种植。不适宜区主要位于万家乡、天星乡、福庆乡、燕子乡、盐河乡、国华镇、鼓城乡、檬子乡、大河乡、水磨乡、英萃镇、正源乡等部分海拔较高区域,该区域热量条件差,地势较陡,农事活动开展不利,不利于水稻产业发展。

笔者通过开展旺苍县水稻种植区划研究,以期对旺苍县水稻生产布局提供参考建议。研究选取区划指标包括影响水稻生产的气候、地形及土壤三大要素,较以往主要针对气候因子开展的区划研究更科学精细。同时指标等级划分以县一级单位为基础,结合当地实际情况,相较于省(市)一级的区划研究更有针对性。研究依托 GIS 平台,对水稻生产区域进行分区讨论,为旺苍县水稻农业生产规划提供参考,有助于种植区域合理安排,提高经济效益。

本研究中地形及土壤指标等级划分主要参考了前人研究,后期还需要结合旺苍县实际生产情况不断调整修改。同时旺苍县土壤类型数据年代较早且只考虑了土壤 pH 值,土壤质地、土壤肥力及土地利用类型等未加考虑,有待今后进一步补充完善。

#### 参考文献:

- [1] 史桂香,张明广. 旺苍县水稻生产面临的困境及对策[J]. 南方农业,2015,9(12):119-120.
- [2] 王连喜,陈怀亮,李琪,等. 农业气候区划方法研究进展[J]. 中国农业气象,2010,31(2):277-281.
- [3] 段居琦. 我国水稻种植分布及其对气候变化的响应[D]. 南京:南京信息工程大学,2012.
- [4] 曹萌萌. 气候变暖背景下黑龙江省水稻种植适宜性区划[D]. 哈尔滨:东北农业大学,2014.
- [5] 杜朝正. 基于 GIS 的中国水稻产量时空格局变化研究[D]. 济南:山东师范大学,2010.
- [6] 杨沈斌,陈德,任侠,等. 基于模糊数学的中国水稻种植区划研究[C]//推进气象现代化——第 29 届中国气象学会年会. 北京,2012.
- [7] 段居琦,周广胜. 我国单季稻种植区的气候适宜性[J]. 应用生态学报,2012,23(2):426-432.
- [8] 张晓梅,杨从党,丁艳锋,等. 西南单季稻区立体生态亚区划分探讨[J]. 中国稻米,2016,22(5):10-14.
- [9] 黄维. 苏皖鄂地区一季稻适宜性种植区划研究[D]. 南京:南京信息工程大学,2017.
- [10] 秦鹏程,万素琴,邓环,等. 湖北省水稻种植布局精细化气候区划[J]. 湖北农业科学,2016,55(16):4150-4153.
- [11] 李正金,李卫国,李菁,等. 基于多因子分析的水稻种植适宜性研究[J]. 江苏农业科学,2018,46(16):271-275.
- [12] 姜丽霞,王萍,南瑞,等. 黑龙江省水稻区划细划的初步研究[J]. 东北农业大学学报,2005,36(4):523-528.
- [13] 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[J]. 中国水稻科学,2013,27(6):658-664.
- [14] 李亚春,黄文杰,谢志清,等. 江苏省海安县优质水稻精细化气候区划研究[J]. 江苏农业科学,2012,40(2):271-274.
- [15] 高蓓,高茂盛,董金芳. 基于最大熵模型和 ArcGIS 的陕西省单季稻种植分布预测及适宜性[J]. 中国农业大学学报,2016,21(3):8-15.
- [16] 方文,罗文质,张景国. 四川再生稻的生态条件及区域适应性研究[J]. 西南农业学报,1994,7(3):15.
- [17] 郭际,施贝贝,徐凯迪,等. 江苏省单季稻应对高温热害和低温冷害的气温保险指数及风险区划[J]. 江苏农业科学,2019,47(2):312-316.
- [18] 房世波. 分离趋势产量和气候产量的方法探讨[J]. 自然灾害学报,2011,20(6):13-18.
- [19] 王泰伦,李继由,虞孝感. 滇西北高寒坝区生态环境对水稻生育及产量结构的地区效应[J]. 南京农业大学学报,1984,7(3):125-128.
- [20] 谭亚玲,洪汝科,陈金凤,等. 海拔高度对不同水稻品种生长的影响研究[J]. 种子,2009,28(7):27-30.
- [21] 李静,袁继超,蔡光泽. 海拔对水稻产量和品质的影响研究进展[J]. 中国农学通报,2013,29(24):1-4.
- [22] 王昭. D 县杂交水稻制种基地选址适宜性评价研究[D]. 西安:西安建筑科技大学,2018:13-14.
- [23] 王娇,王洁,强爱玲,等. 北方不同气候条件对稻米品质性状的影响[J]. 中国稻米,2015,21(6):13-18.
- [24] 易亚科,周志波,陈光辉. 土壤酸碱度对水稻生长及稻米镉含量的影响[J]. 农业环境科学学报,2017,36(3):428-436.
- [25] 郭建茂,谢晓燕,吴越,等. 安徽省一季稻产量灾损风险评价[J]. 中国农业气象,2017,38(8):488-495.
- [26] 王丹丹,邱新法,曾燕,等. 基于分布式模型模拟的茶树种植适宜性区划[J]. 气象科学,2018,38(1):121-129.
- [27] 金志凤,邓睿,黄敬峰. 基于 GIS 的浙江杨梅种植区划[J]. 农业工程学报,2008,24(8):214-218.