

文章编号:1004-8227(2011)06-0672-05

# 基于 GIS 的重庆市再生稻光热资源适宜性区划

高阳华<sup>1</sup>, 陈志军<sup>1</sup>, 杨世琦<sup>1</sup>, 唐云辉<sup>1</sup>, 袁德胜<sup>2</sup>

(1. 重庆市气象科学研究所, 重庆 401147; 2. 重庆市农业技术推广总站, 重庆 401121)

**摘要:** 根据四川盆地东南部再生稻生长发育、产量形成与气象条件的关系, 结合重庆市气候资源特点, 指出影响重庆再生稻的主要气候问题是: 再生稻生育期间的的光热条件、抽穗扬花期的低温阴雨和休眠芽萌发期的高温干旱。以此为基础, 本文选取对再生稻生长发育及产量形成影响较大、且分布差异显著的气象因子: 生育期间的积温和日照时数作为再生稻气候生态区划指标; 在 1:25 万 DEM 的基础上, 利用 ARCGIS 软件计算得到区划指标的空间分布, 制作了精细化的重庆市再生稻光热资源适宜性区划, 将重庆市再生稻栽培区划分为光温丰富再生稻适宜栽培区、热量丰富光照较丰再生稻适宜栽培区、光照丰富热量较丰再生稻较适宜栽培区和光热较丰再生稻较适宜栽培区 4 种类型区, 对各类型区气候资源和气象灾害特点进行了分区评述; 并从再生稻与其它晚秋作物协调发展、年度种植计划制定、高产栽培等方面针对性地提出了对策措施建议, 促进了重庆市再生稻生产的健康发展。

**关键词:** 重庆; 再生稻; 光热资源; 区划; GIS

**文献标识码:** A

重庆市自发地零星种植再生稻已有 1 000 多 a 的历史, 但由于社会生产水平等因素的制约, 产量不高不稳, 一直未形成一种耕作制度。近几十年, 由于人口增加和耕地减少的矛盾日益突出, 人们对粮食的需求不断增加, 加上再生能力较强的水稻品种、温室育秧等新技术的出现, 再生稻还具有生产支出少、节省劳动力的特点, 为再生稻的发展创造了条件。2009 年重庆市开县竹溪镇竹溪村 130 亩(1 亩=1/15 hm<sup>2</sup>)再生稻平均单产达 7 168.5 kg/hm<sup>2</sup>, 创再生稻高产新纪录, 显示出重庆再生稻生产的良好前景。因此, 在重庆市许多两熟有余, 三熟不足的地区, 以及有三熟条件, 但目前没有种植三熟作物的地区适当发展再生稻, 无疑是开发利用气候资源, 增加粮食产量的较好途径。

再生稻作为一季作物, 尽管其生育期短, 却涉及稻作制度改革等一系列问题, 给育种、栽培、农业气象等学科提出了许多尚待研究的新课题。对此, 不少专家、学者曾进行了大量的研究。杨开渠等<sup>[1~5]</sup>曾分别从遗传、生理、栽培等方面进行了研究; 方文等<sup>[6]</sup>研究了气象条件对再生稻的影响规律; 熊志强等<sup>[7]</sup>还以热量条件为依据, 提出了四川盆地再生稻

适宜栽培区域, 然而, 再生稻栽培区内, 光、热、水等农业气候条件的分布悬殊, 各地存在着不同的气候问题。对此, 笔者<sup>[8,9]</sup>在分析四川盆地和重庆市各地再生稻气候生态条件的基础上, 先后划分了四川盆地和重庆市再生稻气候生态类型区。再生稻生长发育时间短, 对气象条件十分敏感, 由于各种技术条件的限制, 依据零星分布的气象站点资料制作的区划很难满足再生稻精细化管理的需要。近年来, GIS 技术被广泛应用于农业、气象、生态、环境和地质灾害等领域<sup>[10~14]</sup>。为此, 本文将应用 GIS 技术制作精细化的重庆市再生稻光热资源适宜性区划, 为制定与各区域气候条件相适应的栽培措施提供依据, 以促进重庆再生稻生产的健康发展。

## 1 影响再生稻的主要气候问题

影响再生稻生产的气象条件根据重庆市再生稻生产实践和有关研究结果表明, 影响重庆市再生稻生长发育及产量形成的农业气候问题, 主要有以下几个方面。

收稿日期: 2010-07-08; 修回日期: 2010-11-04

基金项目: 重庆市科技攻关项目(CSTC, 2011AC1169); 国家科技部“西部开发科技行动”重大项目(2005BA901A01); 科技部农业科技成果转化项目(2007GB24160446); 国家科技支撑计划重大项目(2007BAC03A06); 重庆市气象科学与技术项目(zl-200812)

作者简介: 高阳华(1962~), 男, 重庆奉节人, 正高级高级工程师, 主要从事作物生态、气候资源开发及气象灾害等研究。

E-mail: gaoyanghua@sina.com

### 1.1 再生稻生育期间的的光热条件

再生稻是利用头季稻秆上的“休眠芽”再生形成的一季稻子,其生长发育及产量形成很大程度上取决于秋季气候条件,再生稻产量与日均温和日照时数成显著正相关。重庆市再生稻栽培区的光热条件基本能满足再生稻生长发育,但年际间和地区间的分布差异显著,长江及各支流沿江地区是积温高值区,特别是库区腹地地带的云阳、奉节、巫山、开县及綦江是高值中心;日照时数则从东向西明显减少,东北部光照充足,为光温生产潜力高值区,西部和东南部光温生产潜力偏低。

### 1.2 抽穗扬花期的低温阴雨

再生稻抽穗扬花需要 20~22℃ 以上的日平均气温才能顺利完成其受精过程,其空壳率与日平均气温成显著的负相关。重庆市许多年份秋季阴雨绵绵,气温下降快,且起伏变化较大,导致结实率下降,曾经是再生稻生产的制约因素之一。但相关研究表明<sup>[15]</sup>,重庆市秋季绵雨呈极显著的减轻趋势,对再生稻的影响也明显减小。

### 1.3 休眠芽萌发期的高温干旱

前季稻收割前后的 8 月上、中旬是再生稻萌发成苗的重要时期,再生稻有效穗与休眠芽伸长萌发的最高苗呈显著的正相关,而休眠芽伸长萌发数与日平均气温和湿度均成显著的抛物线关系,当日平均温度在 24.5~27.0℃、空气湿度在 81%~85% 时,休眠芽萌发最多,为有利气象条件;相反,日均温低、湿度高或日均温高、湿度低,对休眠芽有抑制作用,为不利气象条件。前季收获前干旱,使稻株绿叶数下降、株高降低、活芽率下降、芽短、幼穗分化发育延迟;收后干旱,发苗成穗减少、整齐度变差、穗粒数减少、抽穗期推迟。重庆市再生稻栽培区位于低坝河谷地区,区内伏旱频率在 70% 左右,8 月上中旬平均气温都在 28℃ 以上,高温伏旱发生频繁,对休眠芽萌发不利,造成有效穗不足,是再生稻栽培区的共性问题,生产上应引起重视。

## 2 再生稻光热资源适宜性区划

### 2.1 资料来源

所用气象资料为 1971~2000 年气候平均值,来源于重庆市气象局,1:25 万 DEM(100 m×100 m)由重庆市地理信息中心提供。

### 2.2 区划指标

1991 年和 2003 年,笔者<sup>[8,9]</sup>曾以再生稻生育期

积温、8 月上中旬、9 月中旬和年平均气温等热量因子,再生稻生育期日照,8 月平均相对湿度,8 月上中旬降水量等作为再生稻气候类型区划指标,分别划分了四川盆地和重庆市再生稻气候生态类型。但据笔者<sup>[13]</sup>新近的研究发现,“重庆市伏旱发生范围广、频率高,其区域差异不如其它季节明显,而海拔高度的影响更为明显,高发区主要分布在低坝地区、特别是沿江河谷地区。”从而表明:整个重庆再生稻栽培区所处的低坝河谷地区都是伏旱高发区,伏旱对再生稻生产影响虽大,但并不是造成再生稻分布差异的关键因子。为此,本文不将休眠芽萌发期的降水作为再生稻气候生态类型区划指标,仅将对再生稻生产有重要影响、且分布差异明显的热量和光照作为区划指标。另外,前述各热量因子的分布趋势基本一致,因子之间高度相关,本文对热量因子进行了简化,仅以再生稻生育期间积温作为热量指标,最后确定再生稻期间的积温和日照时数作为重庆市再生稻光热资源适宜性区划指标(见表 1)。

表 1 重庆市再生稻光热资源适宜性区划指标

Tab. 1 Sunshine and Heat Resources Adaptive Index of Ratoon Rice in Chongqing Area

类型	8 月中旬~10 月中旬积温(℃)	8 月中旬~10 月中旬日照时数(h)
光温丰富再生稻适宜栽培区	≥1 700	≥320
热量丰富、光照较丰再生稻适宜栽培区	≥1 700	260~320
光照丰富、热量较丰再生稻较适宜栽培区	1 625~1 700	≥320
光热较丰再生稻较适宜栽培区	1 625~1 700	260~320

### 2.3 区划因子的空间扩展

8 月中旬~10 月中旬日照时数的空间扩展,首先根据日出日没时间计算空间各点地理日照时间,再将日出至日没时间分  $n$  个微分时段,根据每一微分时段内是否可照,进一步计算地形起伏情况下的地理日照时间,具体计算方法如下:

$$S_M = \sum_{i=1}^n g_i \times \Delta T \quad (1)$$

式中: $S_M$  为地形起伏情况下的地理日照时间; $\Delta T$  为微分时间; $g_i$  为地形遮蔽系数。

对各气象台站日照百分率采用 ARCGIS 提供的普通克里格插值:

$$Z = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z_i \quad (2)$$

式中： $\lambda_i$  是权重系数，表示其它气象站点相对于估算点的影响值， $\lambda_i$  是  $i$  点的权重系数； $Z$  是日照百分率预测值； $Z_i$  是  $i$  点的值； $n$  是已知点的个数。

显然，地形起伏情况下的任一点的日照时数可由下式计算：

$$S = S_M \times Z \tag{3}$$

根据(1)、(2)、(3)即可得到地形起伏情况下的日照时数的空间分布。据此，计算得到重庆市 8 月中旬~10 月中旬日照时数的空间分布如图 1 所示。

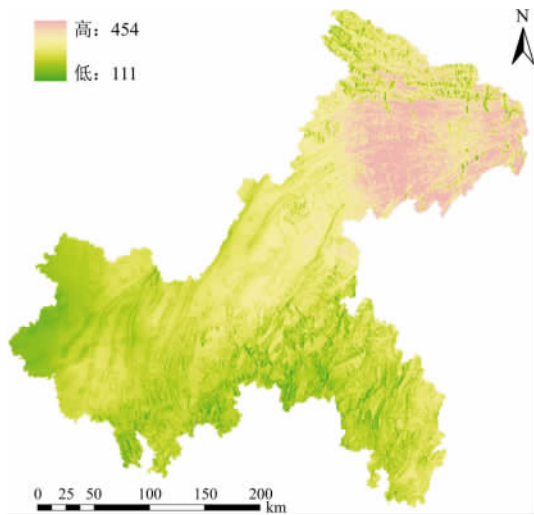


图 1 重庆市 8 月中旬~10 月中旬日照时数分布图(h)  
Fig.1 Spatial Distribution of Sunshine Duration from Mid-august to Mid-october(h)

8 月中旬~10 月中旬积温的空间扩展，先采用 ARCGIS 提供的普通克里格插值，计算该时段积温的水平分布，再选取相邻的 7 个气象台站进行回归计算，得到本区域积温垂直递减率，两者结合进行推算，得到起伏地形下空间各点的年平均气温，其结果如图 2 所示。

### 2.4 区划结果

根据区划指标的空间扩展结果，利用 ARCGIS 的空间叠加功能，得到重庆市再生稻气候生态区划，将重庆市再生稻栽培区划分为 4 种类型区，结果如图 3 所示。

### 2.5 分区评述

#### (1) 光温丰富再生稻适宜栽培区(I)

该区主要分布在重庆东北部的巫山、奉节、云阳、开县、万州、忠县的低坝河谷地区，区内 8 月中旬~10 月中旬积温在 1700℃ 以上，日照时数在 320 h 以上，光温生产潜力在 7500 kg/hm<sup>2</sup> 以上，是重庆市再生稻光温生产潜力最高的地区，再生稻安全齐

穗期为 9 月底~10 月初，再生稻发苗期高温、少雨、低湿突出，只要能解决发苗期的高温干旱影响，其增产潜力相当可观。

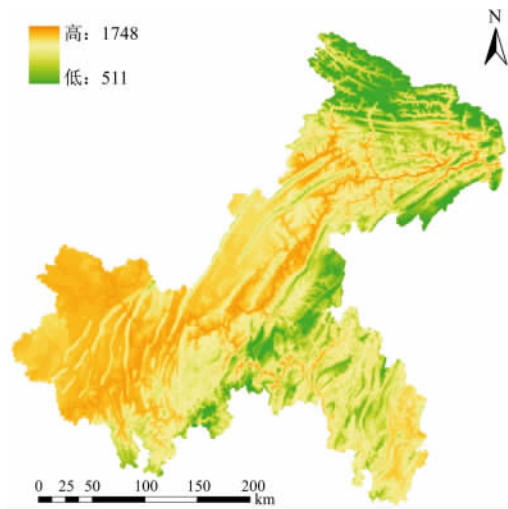


图 2 8 月中旬~10 月中旬积温分布图(℃)  
Fig.2 Spatial Distribution of Accumulated Temperature from Mid-august to Mid-october(℃)

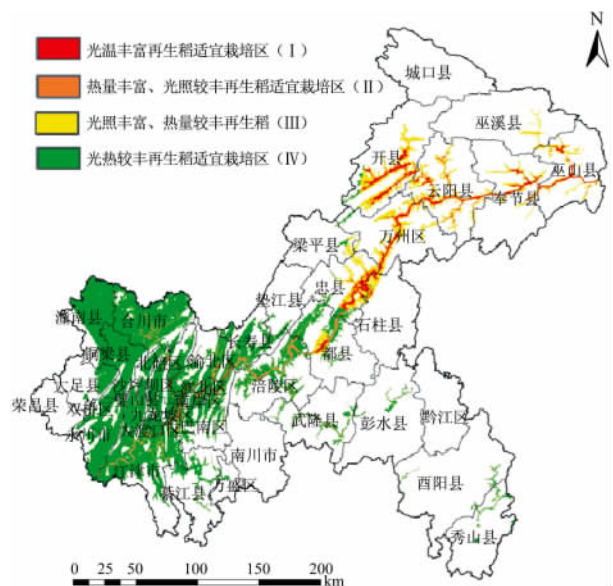


图 3 重庆市再生稻光热资源适宜性区划图  
Fig.3 Sunshine and Heat Resources Adaptive Regionalization of Ratoon Rice in Chongqing Area

#### (2) 热量丰富、光照较丰再生稻适宜栽培区(II)

该区主要分布在重庆中西部长江及支流的河谷地带，区内 8 月中旬~10 月中旬积温在 1700℃ 以上，日照时数 260~320 h，光温生产潜力接近 7500 kg/hm<sup>2</sup>，再生稻安全齐穗期为 9 月底~10 月初，再

生稻发苗期高温、少雨、低湿突出。

(3)光照丰富、热量较丰再生稻较适宜栽培区(Ⅲ)

该区主要分布在重庆东北部的巫山、奉节、云阳、开县、万州、忠县低坝河谷地区的上部,海拔稍高于 I 区的地区,区内 8 月中旬~10 月中旬积温在 1 625~1 700℃,日照时数在 320 h 以上,光温生产潜力接近 7 500 kg/hm<sup>2</sup>,再生稻安全齐穗期为 9 月下旬以前,再生稻发苗期高温、少雨、低湿较为突出。

(4)光热较丰再生稻较适宜栽培区(Ⅳ)

该区主要位于中西部浅丘地区,区内 8 月中旬~10 月中旬积温在 1 625~1 700℃,日照时数 260~320 h,光温生产潜力为 6 750~7 500 kg/hm<sup>2</sup>,再生稻安全齐穗期为 9 月下旬中以前,再生稻发苗期高温、少雨、低湿较为突出。

### 3 对策措施建议

(1)重庆市低坝河谷地区光热资源丰富,特别是随着全球变暖,重庆市秋季低温阴雨呈减轻的趋势,对发展再生稻提供了更加优越的气候条件,是优质再生稻栽培区<sup>[14]</sup>。因此,发展再生稻对增加粮食产量、改善人们生活水平具有重要意义。

(2)重庆市再生稻栽培区的光热条件都基本能满足再生稻生长发育,应充分开发利用。尤其是适宜区有种植再生稻的优越条件,应把再生稻生产作为开发秋季气候资源的一个重要项目来抓,只要品种对路,措施得当,完全可以成为再生稻高产稳产区。

(3)通过选用对路品种,采取增温育苗等措施,提前生育进程,减轻秋季低温阴雨危害,前季稻收割前后灌(浇)水增湿,促进休眠芽萌发,是提高重庆市再生稻产量的主要措施。其中,Ⅰ区应把前季收割前后,灌(浇)水增湿,促进休眠芽萌发作为重点;其它 3 个栽培区应把提早生育进程和促进休眠芽萌放在同等重要的位置。

(4)再生稻生产作为重庆市晚秋生产的一部分,在生产上要将其与秋红薯、秋洋芋、秋大豆、秋菜等晚秋作物协调布局,统一规划。不同气候年型,再生

稻适宜种植面积波动较大,8 月上旬前后高温伏旱较轻,有利再生稻发苗的年份,要适当扩大再生稻面积,反之,则应适当减少再生稻面积。因此,研究开发再生稻种植计划气候决策系统,根据不同年份气候条件的差异,调整再生稻种植面积,对科学确定再生稻年度种植计划,确保晚秋作物丰收具有重要作用。

### 参考文献:

- [1] 杨开渠. 再生水稻研究[J]. 农业学报, 1958, 9(2): 107~133.
- [2] 闵军, 黎用朝, 张黎光, 等. 湖南再生稻品种筛选研究[J]. 中国稻米, 2002, 9(1): 10~11.
- [3] 施能浦. 再生稻的发展历程与开发利用类型[J]. 中国稻米, 1997, 4(4): 14~15.
- [4] VERGARA B S, LOPEZ F S S, CHANHAHN J S. 再生稻的形态与生理[J]. 李贤勇译. 再生稻, 1996(1): 39~45.
- [5] BAJAR F A De, DATTA S K. Prospects of increasing total rice production through ratooning [J]. Agron J, 1977, 69: 536~540.
- [6] 方文. 提高再生稻产量的气象条件探讨[J]. 中国农业气象, 1990, 11(1): 35~38.
- [7] 熊志强, 杨秀蓉, 王凌. 四川秋冬季气候资源优势的农业开发与利用[J]. 四川气象, 1995, 15(1): 43~46.
- [8] 高阳华, 易新民. 四川盆地再生稻气候生态类型区划[J]. 资源开发与保护, 1991, 7(4): 264~265, 274.
- [9] 高阳华, 冉荣生, 唐云辉, 等. 重庆市再生稻气候生态条件及类型区划[J]. 山区开发, 2003, 15(2): 39~41.
- [10] 刘咏梅, 李谦, 符海月, 等. 3S 技术在衔接主体功能区划与土地利用管理中的应用[J]. 长江流域资源与环境, 2009, 18(11): 1 003~1 007.
- [11] 吴忠芳, 周廷刚, 王婷, 等. 基于 RS 与 GIS 的大型滑坡解译[J]. 长江流域资源与环境, 2008, 17(Z1): 138~144.
- [12] 冯文兰, 周万村, 李爱农, 等. 基于 GIS 的岷江上游乡村聚落空间聚集特征分析[J]. 长江流域资源与环境, 2008, 17(1): 57~61.
- [13] 高阳华, 田永中, 陈志军, 等. 基于 GIS 的重庆市复杂地形干旱精细化空间分布[J]. 中国农业气象, 2009, 30(3): 421~425.
- [14] 高阳华, 陈志军, 梅勇, 等. 重庆市优质稻气候资源及其开发利用研究[J]. 西南大学学报, 2007, 29(11): 110~114.
- [15] 高阳华, 唐云辉, 李轲, 等. 重庆市绵雨的分类与指标及其时空分布规律研究[J]. 长江流域资源与环境, 2003, 12(3): 237~242.

## GIS-BASED SUNSHINE AND HEAT RESOURCES ADAPTIVE REGIONALIZATION OF RATOON RICE IN CHONGQING AREA

GAO Yang-hua<sup>1</sup>, CHEN Zhi-jun<sup>1</sup>, YANG Shi-qi<sup>1</sup>, TANG Yun-hui<sup>1</sup>, YUAN De-shen<sup>2</sup>

(1. Chongqing Institute of Meteorological Science, Chongqing 401147, China; 2. Chongqing Agricultural  
Science and Technology Extension Station, Chongqing 401147, China)

**Abstract:** According to ratoon rice growth and yield formation with meteorological conditions in the south-east of Sichuan basin, light and heat conditions are the main climatic factors which influence the growth period of ratoon. The main meteorologic problems which influence the ratoon most are the continuous low temperature overcast and rainy day during the flowering stage or the high temperature and drought during the germination of dormant buds stage. Based on the analysis beforehand, the article selected accumulated temperature and sunshine duration during the growth of ratoon as the key indices of climatic types, which have significantly different spatial distribution by terrain and have the great influence on the ratoon growth and yield formation. The sunshine and heat resources adaptive regionalization of ratoon rice was made based on the spatial distribution of indices which was made based on the GIS and 1:250,000 DEM. The area suitable for cultivation were divided into four types based on the analysis. They were the region rich in heat and light, the region rich in heat and relatively rich in light, the region rich in light and relatively rich in heat, and the region relatively rich in light and heat. And characters of climate resources and meteorological disasters were also described by types too. Based on the above, the paper put forward the cultivation methods to increase production and the ways to develop ratoon with other late autumn crops in order to develop the ratoon rice more stable and reliable.

**Key words:** Chongqing; ratoon rice; sunshine and heat resources; regionalization; GIS