

渠江流域水稻热量垂直特征分析

姜蓉¹ 张利平¹ 彭云¹ 龙俊天²¹达州市气象局,四川达州 635001;²巴中市气象局,四川巴中 636000)

摘要 利用1981—2018年渠江流域及周边20个站点的气象资料,基于水稻生理界限温度指标,建立界限温度、积温和初终日期等热量因子的数理模型,计算分析各热量因子的垂直变化特征,各海拔高度的旬气温,水稻潜在生育期、播种、齐穗等界限温度的季节变化以及高温和低温情况。结果表明:渠江流域水稻生长期各旬的气温垂直递减率有较大差异,在0.45~0.81℃/100m之间变化,最大值出现在9月下旬,最小值出现在6月中旬。随着海拔由低到高变化,通过界限气温的时间依次后延,终期提前,潜在安全生育期缩短。海拔1100m左右山区的12~23℃潜在安全生育期不足100d,只适合种植耐寒性较强的早熟粳稻。海拔1200m以上山区热量条件明显不足,不适合种植水稻。渠江流域日最高气温≥35℃平均日数的垂直递减率约为4d/100m,海拔800m以上无高温影响;日最高气温30~35℃之间的日数,海拔800m以下为58~59d。高温强度较适宜的水稻种植海拔高度范围为500~700m,生产上海拔400m以下平坝浅丘区的水稻安全齐穗期应安排在7月中旬。

关键词 水稻;热量;垂直变化特征;渠江流域

中图分类号 S161.22 **文献标识码** A

文章编号 1007-5739(2021)02-0169-05

DOI: 10.3969/j.issn.1007-5739.2021.02.069

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Analysis of Rice Thermal Vertical Characteristics in Qujiang River Basin

JIANG Rong¹ ZHANG Liping¹ PENG Yun¹ LONG Juntian²¹Dazhou Meteorological Bureau, Dazhou Sichuan 635001; ²Bazhong Meteorological Bureau, Bazhong Sichuan 636000)

Abstract Using the meteorological datas of 20 stations in and around the Qujiang River Basin from 1981 to 2018, based on the physiological threshold temperature index of rice, mathematical model of heat factors such as boundary temperature, accumulated temperature and beginning and end date was established, the vertical variation characteristics of each heat factor, the ten-day air temperature at each elevation, the seasonal variation of the boundary temperature such as rice potential growth period, sowing, full heading and high and low temperature were calculated and analyzed. The results showed that there was a great difference in the temperature lapse rate in each ten days during rice growing period in the Qujiang River Basin, ranging from 0.45℃/100m to 0.81℃/100m, with the maximum value in late September and the minimum value in mid-June. With the increase of altitude, the time of passing through each boundary temperature was delayed successively, the final stage was advanced, and the potential safe growth period was shortened. The potential safe growth period of 12~23℃ was less than 100d in mountainous areas with an altitude of 1100m, which was only suitable for early maturing japonica rice with strong cold resistance. The thermal condition of the mountainous area above altitude 1200m was obviously insufficient, which was not suitable for planting rice. The lapse rate of the daily maximum temperature ≥35℃ in the Qujiang River Basin was about 4d/100m, and the altitude above 800m had no high temperature effect. The number of days with the highest daily temperature of 30~35℃ below 800m was 58~59 days. The altitude is 500~700m where the high temperature intensity is suitable for rice planting, and the safe heading period for rice production in shallow hilly area of plateau dam below altitude 400m should be arranged in mid-July.

Keywords rice; heat; vertical variation characteristic; Qujiang River Basin

渠江流域主要包括达州和巴中两市,地处四川盆地东北部、大巴山-米仓山南麓,地形复杂,海拔高度222~2548m,属山地丘陵稻区。本区水稻主要分布在

海拔600m以下地区,品种以杂交籼稻为主,800m以上低中山区分布有少量粳稻,1000m以上山区水稻分布极少。渠江流域属亚热带季风气候区,山地垂直气候特征明显,因气候资源的季节性分布不均,山区水稻种植管理因考虑热量因素不周导致水稻生长发育障碍事件时有发生,如低中山区的春季与盛夏低温和浅丘平坝区水稻的盛夏高温,对水稻生长发育和安

基金项目 高原与盆地暴雨旱涝灾害四川省重点实验室科技发展(省重点实验室2018-重点-05-01)。

作者简介 姜蓉(1974—),女,四川达州人,助理工程师,从事应用气象服务工作。

收稿日期 2020-08-18

全齐穗都有不同程度的影响和危害,从而影响水稻产量和品质。

近年来,国内外已开展大量水稻种植气候条件分析研究,并取得丰硕成果^[1-4]。研究表明^[5-8],12℃是水稻播种育秧的下限气温,15℃是秧苗生长适宜温度下限,20℃是水稻分蘖及大田生长的适宜气温下限,稳定通过12℃初日和稳定通过20℃终日的间隔视为潜在生育期长度,20、23℃分别是常规稻、杂交籼稻安全抽穗扬花的安全下限气温,日最高气温35、40℃分别是水稻安全抽穗扬花的有害气温和上限气温,对不同品系而言,低温对籼稻影响更大,高温对粳稻影响更大。在水稻的实际生产中,不仅需要考虑到播种的安全气温(≥12℃或10℃),还需要考虑适合出苗后秧苗生长(≥15℃),及适当苗期(约30d),移栽作业后保证迅速成活进入分蘖的气温(≥20℃),以及安全齐穗期的气温(≥20℃或23℃)。以上研究多基于水平气象数据,山区水稻种植垂直气候研究相对较少^[9-10]。渠江流域山地水稻研究主要在20世纪80年代,目前,该区域“三农”形势已发生很大变化,因农业产业结构调整、气候变化等原因,有必要基于新的气象资料开展山地水稻的垂直分布研究。

本文统计渠江流域各海拔逐旬平均气温和稳定通过各界限气温的初终日以及高温日数等热量指标,建立垂直分布数理模型,计算分析各海拔高度中稻种植的潜在生育期、播种期、抽穗期等关键界限气温特

征和高温影响情况,确定不同海拔适宜种植的品种和合理的播种期、抽穗期,为渠江流域山地水稻品种选择和种植提供参考。

1 数据与方法

1.1 数据来源

渠江流域区域及周边20个国家气象站1981—2018年的气象数据来源于四川省气象探测数据中心。水稻生育期参考资料来源于达川区气象局,即播种期3月22日、出苗期3月30日、三叶期4月15日、移栽期5月14日、返青期5月23日、分蘖期5月31日、拔节期7月1日、孕穗期7月17日、抽穗开花期7月26日、灌浆期8月8日、成熟期8月25日,全生育期天数156d,全生育期≥10℃积温3596.0℃。

1.2 热量垂直空间分布的计算

因各热量因子与海拔显著相关(相关系数 $R>0.7$,大部分 $R>0.9$),运用一元线性回归法建立其垂直空间分布模型:

$$Y=a+bh+\varepsilon \tag{1}$$

式中, Y 为热量因子, a 为常数,回归系数 b 为垂直递减(增)率, h 为海拔高度, ε 为残差。

据此,建立渠江流域各热量因子的数理模型,均通过了 $\alpha=0.01$ 水平的显著性检验。具体参数如表1所示。

1.3 气温稳定通过23℃终日的确定方法

经分析,各站点22℃终日是同步的,具有极好的相关性。本文以整编资料中稳定通过22℃终日为基

表1 热量因子数理模型参数

序号	项目	a	b	ε	R	F	序号	项目	a	b	ε	R	F
1	10℃初日	57.57	0.04	3.0	0.87	25.5	10	20℃初日	129.84	0.03	4.0	0.80	14.5
2	10℃终日	342.90	-0.04	2.0	0.95	72.1	11	20℃终日	282.49	-0.04	3.5	0.92	42.9
3	10℃积温	6296.44	-2.40	127.0	0.94	60.0	12	20℃积温	4068.54	-2.33	197.0	0.90	34.9
4	12℃初日	70.23	0.04	3.0	0.94	59.7	13	22℃初日	141.26	0.05	3.0	0.93	55.5
5	12℃终日	332.45	-0.04	3.0	0.91	39.6	14	22℃终日	265.32	-0.04	3.5	0.86	22.0
6	12℃积温	6008.05	-2.39	130.0	0.94	61.5	15	22℃积温	3417.96	-2.50	181.0	0.94	60.1
7	15℃初日	93.30	0.03	2.6	0.82	15.9	16	≥30℃日数	93.19	-0.04	4.0	0.80	14.2
8	15℃终日	311.34	-0.04	3.0	0.93	50.0	17	≥35℃日数	33.52	-0.04	4.0	0.80	33.4
9	15℃积温	5338.82	-2.17	127.0	0.94	53.6	18	日最低气温≤2.0℃日数	-24.43	0.11	3.0	0.96	94.0

注:初终日计算结果为日序(1~365),积温单位为℃/d,日数单位为d。

准,大致按海拔900m以下提前7d、海拔900m以上提前6d进行计算,计算误差为1d左右。

1.4 80%保证率的计算

假设某一样本呈正态分布,其保证率计算公式如下:

$$X_p = \bar{X} + S_x \times U_p \tag{2}$$

式中, X_p 为某一样本80%保证率的值, \bar{X} 为该样本的平均值, S_x 为样本的平均差, U_p 为系数。不同保证率的 U_p 值不同,本式中 $U_p=-0.84$ 。

2 结果与分析

2.1 热量因子垂直变化一般规律

2.1.1 旬平均气温。3月上旬至10月下旬各旬平均气温垂直递减率为0.45~0.81℃/100m,旬平均气温垂直递减率呈双峰型变化,峰值分别出现在5月上旬和9月下旬,其中9月下旬最大,中低山区因秋季多雨出现低温的概率较大。3月上旬至6月中旬呈下降趋势,6月下旬至9月上旬呈上升趋势,进入10月后迅速下降至0.6℃/100m左右的正常水平(图1)。

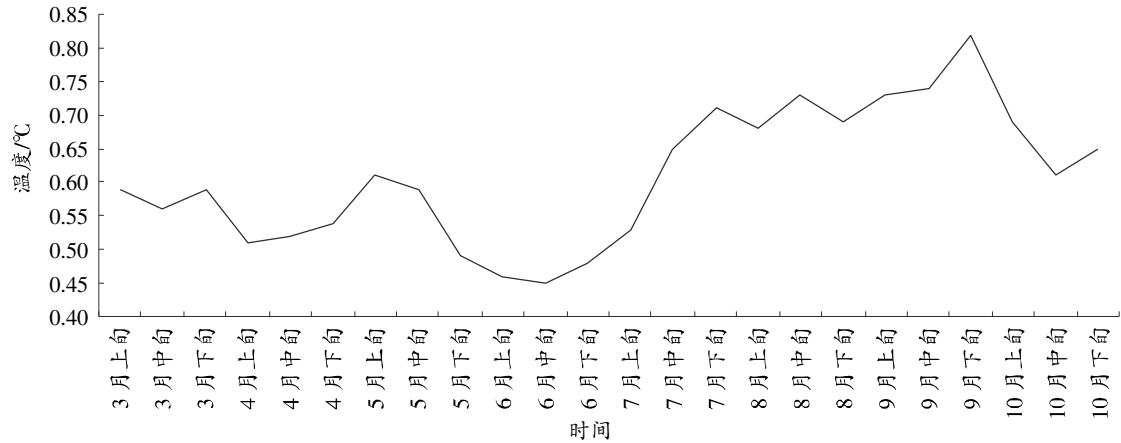


图1 1981—2018年旬气温垂直递减率变化

2.1.2 初日。各界限温度初日垂直递增(推迟)率:10℃和12℃约为4.0 d/100 m,15℃约为2.7 d/100 m,20℃约为3.4 d/100 m。

2.1.3 终日。各界限温度终日垂直递减(提前)率如下:23℃约为3.7 d/100 m,20℃约为4.1 d/100 m,15℃约为3.8 d/100 m。

2.1.4 初终日数。10℃(12℃)初日至20℃终日(播种—成熟)日数垂直递减率约为8.1 d/100 m,12℃初日至15℃初日(播种—苗期)日数垂直递减率约为1.3 d/100 m,15℃初日至20℃初日(苗期—大田分蘖期)间隔日数垂直递增率约为0.7 d/100 m。

2.1.5 积温。分析1981—2018年数据发现,≥10℃或12℃垂直递减率为239.0℃/100 m,≥15℃垂直递减率为217.0℃/100 m,≥20℃垂直递减率为250.4℃/100 m。

2.1.6 升温降温。春季7~8 d升温1℃,秋季6~7 d降温1℃。低海拔地区比高海拔地区春季升温略快,秋季降温略慢。

2.1.7 高温。海拔800 m及以下日最高气温≥35.0℃

日数垂直递减约为4.0 d/100 m,日最高气温30~35℃日数为58~59 d。海拔800 m以上无高温影响,日最高气温30~35℃日数垂直递减约为4.0 d/100 m。

2.2 旬平均气温垂直分布特征分析

计算渠江流域各海拔高度逐旬平均气温,可确定各海拔各个界限气温季节分布情况。海拔300 m,3月下旬起高于12℃,4月中旬起高于15℃,5月中旬至9月下旬高于20℃,6月中旬至9月上旬高于23℃。海拔500 m,3月下旬起高于12℃,4月中旬起高于15℃,5月下旬至9月中旬高于20℃,6月中旬至8月下旬高于23℃。海拔700 m,4月上旬起高于12℃,4月下旬起高于15℃,6月上旬至9月上旬高于20℃。6月下旬至8月中旬高于23℃。海拔900 m,4月上旬起高于10℃,4月中旬起高于12、15℃,6月上旬至9月上旬高于20℃,7月上旬至8月中旬高于23℃。海拔1100 m,4月中旬起高于10℃,4月下旬起高于12℃,5月上旬起高于15℃,6月中旬至8月下旬高于20℃,7月中旬至8月上旬高于23℃(图2)。

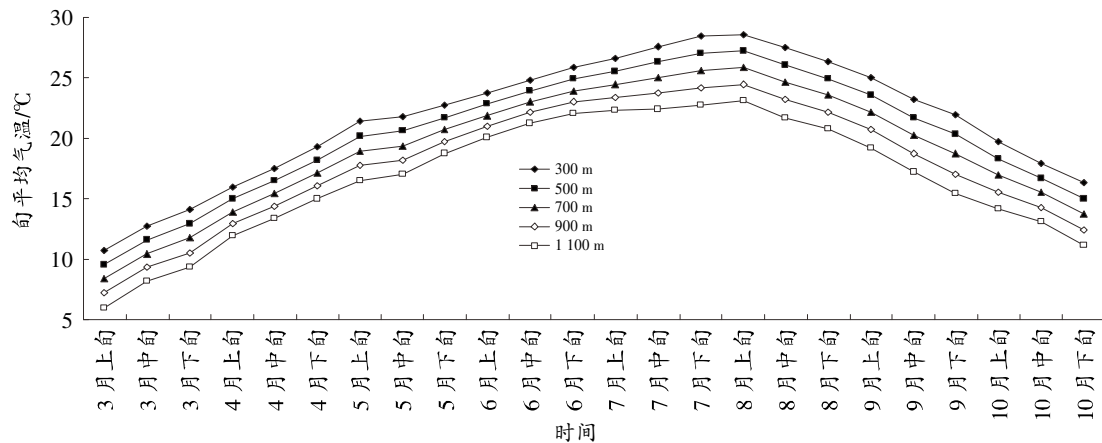


图2 1981—2018年各海拔旬平均气温变化

2.3 潜在生育期界限气温分析

由于旬平均气温掩盖了旬内气温的波动性,旬内

连续几天的低温事件往往会给水稻种植造成较大损失。因此,以气温安全保证率更精细地分析各个界限

气温的具体分布情况。

12℃为水稻播种育秧下限温度,20℃为大田生产适宜温度下限。统计渠江流域各个海拔高度稳定通过12℃和20℃初终日的平均日期及80%安全保证率日期,具体见图3。可以看出,渠江流域海拔1200m以下12℃平均初日垂直递增(推迟)率约3.4d/100m,安全日期依次推迟6~7d。海拔300m的12℃平均初日为3月23日,安全日期推迟6d为3月29日;20℃平均终日垂直递减(提前)率约4.1d/100m,海拔300m为9月27日,各海拔高度上安全终日提前7~8d,提前幅度随海拔升高略有增大。

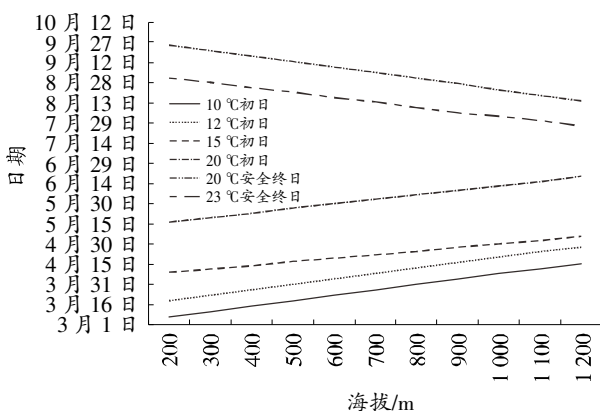


图3 1981—2018年各界限温度日期随海拔变化

根据潜在生育期长度选择合适的熟性品种和生产计划,可以降低低温灾害风险。以12℃初日与20℃终日间的日数为潜在生育期,渠江流域水稻平均潜在生育期:300m,189d;500m,173d;700m,156d;900m,140d;1100m,124d。12℃安全初日与20℃安全终日间隔即为安全潜在生育期,300m安全潜在生育期为174d,500m安全潜在生育期为168d,700m安全潜在生育期为141d,900m安全潜在生育期为124d,1100m安全潜在生育期为108d。20℃平均初终日间隔可视为大田适宜生长期,渠江流域大田平均适宜生长期:海拔300m,131d;海拔500m,116d;海拔700m,101d;海拔900m,86d;海拔1100m,71d。从热量季节分布特征出发,在实际生产中大田适宜生长期加上超过30d的育秧期作为潜在生育期更为合适(适用潜在生育期)。

2.4 播种界限气温分析

春季低温是渠江流域中稻播种育秧的主要灾害性天气,在稳定通过12℃后播种可以减少播种育秧风险。渠江流域海拔300m稳定通过12℃平均安全初日为3月23日,海拔500、700m稳定通过12℃平均安全初日分别为3月31日、4月8日,海拔900m稳定通过10℃平均安全初日为4月3日。海拔每上升100m,

平均安全初日推迟约4d。

水稻大田适宜生长温度下限为20℃,将12℃安全初日到20℃平均初日间隔作为潜在育秧期。渠江流域潜在育秧期为50d左右,海拔600m以下潜在育秧期为50~52d,700~1000m潜在育秧期为49~46d。一般水稻秧龄以30d左右为宜,秧龄过长,秧苗老化,不利于移栽后的大田返青分蘖。因此,将20℃平均初日前推35~40d播种较适合,倒推截止时间基本与15℃平均初日基本吻合,同时气温高于15℃更有利于水稻的出苗及幼苗生长。

从实际生产综合考虑,应采取薄膜保温育秧技术将水稻播种期提前,海拔从低到高,水稻播种期一般应安排在3月上旬至4月中旬,移栽期安排在4月下旬至5月中旬,播种至移栽一般间隔时间为40~50d,其目的一是尽量避开低海拔区盛夏高温对水稻抽穗扬花的不利影响,二是保证高海拔区水稻生长期间的积温和减轻初秋乳熟-成熟期间低温阴雨的不利影响^[11-12]。

2.5 抽穗期界限气温分析

20、23℃分别是常规稻、杂交稻抽穗扬花的安全界限气温,20、23℃安全初终日间隔可视为常规稻、杂交稻的潜在安全抽穗期,20、23℃安全终日视为安全抽穗截止日期。根据图3,渠江流域5个海拔高度20℃安全终日分别为9月21日、9月12日、9月4日、8月27日、8月18日。23℃平均安全终日期:海拔300m,8月28日;海拔500m,8月20日;海拔700m,8月13日;海拔900m,8月5日;海拔1100m,7月30日。

各海拔23℃安全终日可以作为杂交水稻的安全齐穗终止日期,海拔800m以上23℃安全齐穗日期较早(8月上旬),且海拔1000m以上23℃初终日数不足30d,因而海拔800~1200m只适合种植耐寒的水稻品种,生产上应安排在20℃安全终日前齐穗。

日最高气温 $\geq 35^\circ\text{C}$ 和 40°C 是水稻抽穗扬花期的有害温度和致死温度。渠江流域海拔500m以下盛夏期间,特别是7月下旬至8月上旬,几乎每年都有连续3d以上日最高气温 $\geq 35^\circ\text{C}$ 的高温热害天气,甚至出现 40°C 以上有异常高温天气。海拔300、500、700m日最高气温 $\geq 35^\circ\text{C}$ 平均日数分别为21、13、5d,海拔800m以上无高温危害。

适度高温对水稻迅速生长和正常抽穗扬花有利。计算日最高气温 $30\sim 35^\circ\text{C}$ 的日数,海拔800m以下为58~59d,海拔800m以上每上升100m,日数减少约4d。

综上,温度条件适宜水稻种植的海拔高度范围为500~700 m,生产上海拔400 m以下平坝浅丘区的水稻安全齐穗期应安排在7月中旬以前,同时高温期间应采取以水调温等措施,避免或减轻高温危害。

2.6 水稻热量垂直分布

基于以上分析,归纳总结渠江流域中稻热量垂直

分布情况具体见表2。

3 结论与讨论

3.1 结论

(1)渠江流域水稻生长期气温垂直变化随季节不同而变化,各旬的气温垂直递减率为0.45~0.81 °C/100 m,最大值出现在9月下旬,最小值出现在6月中旬。

表2 水稻生育关键期垂直分布与适宜品种

海拔/m	最早安全播期	≥15 °C始期	≥20 °C初期	≥20 °C终期	潜在安全生长期/d	安全齐穗期	适宜品种
300	3月23日(12 °C)	4月11日	5月19日	9月21日	174(12~23 °C)	8月28日(23 °C)	晚熟籼稻
500	3月31日(12 °C)	4月16日	5月26日	9月12日	168(12~23 °C)	8月20日(23 °C)	晚熟籼稻
700	4月8日(12 °C)	4月22日	6月2日	9月4日	141(12~23 °C)	8月17日(23 °C)	中熟籼稻
900	4月16日(12 °C)	4月27日	6月9日	8月27日	124(12~23 °C)	8月5日(23 °C)	早熟籼稻
	4月3日(10 °C)				137(10~20 °C)	8月27日(20 °C)	中熟粳稻
1 100	4月11日(10 °C)	5月2日	6月15日	8月18日	123(10~20 °C)	8月18日(20 °C)	早熟粳稻

注:表中日期均为一般年份。

(2)随着海拔由低到高变化,通过各界限气温初始日期依次后延,终期提前,潜在安全生育期缩短。海拔1 100 m以上12~23 °C潜在安全生育期不足100 d,只适合种植耐寒性较强的早熟粳稻;海拔1 200 m以上山区热量条件明显不足,不适合种植水稻。

(3)渠江流域日最高气温≥35 °C平均日数垂直递减率约为4 d/100 m,海拔800 m以上无高温影响;日最高气温30~35 °C的日数,海拔800 m以下为58~59 d。高温强度较适宜的水稻种植海拔高度为500~700 m,生产上海拔400 m以下平坝浅丘区的水稻安全齐穗期应安排在7月中旬,以避免或减轻高温危害。

3.2 讨论

(1)渠江流域中稻气温垂直特征分析与生产实际基本一致,说明本文在热量界线指标的选择和适宜性分析方法上具有合理性,可以为本区域山地中稻种植的品种选择和农事安排提供参考依据,从而促进本区域水稻丰产。

(2)本文只分析热量垂直分布的一般情况,受纬度、地形地貌、局地小气候和气象灾害等因素的综合影响,实际情况与计算结果有一定出入,这是在实际应用时应注意的地方^[13-15]。

4 参考文献

- [1] 段居奇,周广胜.中国双季稻种植区的气候适宜性研究[J].中国农业科学,2012,45(2):218-227.
- [2] 刘敏,刘安国,邓爱娟,等.湖北省水稻生长季热量资源变化特征及其对水稻生产的影响[J].华中农业大学学报,2011,30(6):746-752.
- [3] 陆魁东,申建斌,黄晚华,等.湖南一季晚稻抽穗扬花期间

- 高温分析及对种植布局的建议[J].湖南农业科学,2005(4):28-30.
- [4] 尹春梅,谢小立.桃源县水稻产量的气候影响分析[J].中国农业气象,2008,29(4):450-453.
- [5] 匡勇,郑华斌,黄璜.温度变化对湖南水稻产量的影响[J].作物研究,2011,25(6):538-543.
- [6] 许昌燊.农业气象指标大全[M].北京:气象出版社,2004:2-4.
- [7] 顾明.海拔对水稻生长发育的影响[J].耕作与栽培,1997(增刊1):61-63.
- [8] 袁继超,杨世民,王明田,等.攀西地区水稻生育期的垂直变化特点及其积温效应[J].作物学报,2008,34(2):247-253.
- [9] 王洪军,贺萍.低温冷害对水稻生育的影响及防御措施[J].黑龙江气象,2012,29(1):37-38.
- [10] 张瑜洁,姜亚珍,游松财.水稻生长对气温变化响应的研究:以江苏姜堰市不同播种期试验为例[J].资源科学,2014,36(5):1037-1042.
- [11] 米艳华,陆琳,陈艺齐,等.干热河谷区农业种植模式的资源利用率研究[J].西南农业学报,2011,24(1):61-65.
- [12] 陈超,庞艳梅,张玉芳,等.四川单季稻产量对气候变化的敏感性和脆弱性研究[J].自然资源学报,2016(2):331-342.
- [13] 张玉芳,刘琰琰,赵艺,等.四川水稻产量及其构成要素对不同生育期气候因子的响应分析[J].西南农业学报,2016,29(6):1459-1464.
- [14] 张鹏,徐群,王俊.新宾县水稻生长发育与温度的关系[J].现代农业科技,2012(13):63.
- [15] 李建,江晓东,杨沈斌,等.长江中下游地区水稻生长季节内农业气候资源变化[J].江苏农业学报,2020(1):99-107.