

刘琰琰,李柯薇,王鑫. 旺苍县农业气候资源及气象灾害时空特征分析[J]. 江苏农业科学,2021,49(4):170-178.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2021.04.032

旺苍县农业气候资源及气象灾害时空特征分析

刘琰琰¹, 李柯薇¹, 王鑫²

(1. 成都信息工程大学大气科学学院/高原大气与环境四川省重点实验室, 四川成都 610225;

2. 四川省农业气象中心, 四川成都 610072)

摘要:基于 1981—2018 年旺苍县及其周边共计 16 个站点的气象观测资料,利用 ArcGIS 统计分析旺苍县农业气候资源变化趋势及空间分布,并对该地区主要气象灾害的年际变化和空间分布进行了探讨。结果表明,旺苍县稳定通过 10℃ 的持续时间和生长期中积温、年日照时数总量都呈上升趋势,具有南多北少的分布特征;降水量有下降趋势,呈北多南少分布特征。干旱频次波动较小且具有明显的空间分布差异,春旱、夏旱频次都呈西多东少特征,伏旱高发区在旺苍南部。暴雨频次随暴雨等级的升高而逐渐减少,各级暴雨的空间分布均呈北高南低特征。秋绵雨频次呈下降趋势,空间分布特征为东少西多。研究结果为提高旺苍地区农业防灾减灾能力及优化农业气候资源利用提供了一定的参考依据。

关键词:农业气候资源;气象灾害;年际变化;空间分布特征;旺苍县

中图分类号:S162.3 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2021)04-0170-09

联合国气候变化政府间专家委员会(IPCC)第 5 次评估报告^[1]指出,在人为因素和自然因素的共同影响下,1880—2012 年全球平均温度已经升高 0.85℃,其中人为因素极有可能是全球变暖的主要原因。诸多证据表明,全球变暖已经成为当今世界气候变化的主要趋势,在此气候背景下,伴随着海平面上升、冰川融化等现象,极端天气发生频率也有所增加^[2-4]。农业气候资源是农业自然资源的重要组成部分,是农业生产必不可少的环境条件^[5-6],气象灾害对农业生产影响巨大,随着极端天气发生频次和强度的增大,农业气象灾害已成为影响和制约我国粮食安全及发展的主要因素之一。

四川是典型的气候脆弱区之一,而旺苍县位于四川北缘,属于亚热带湿润季风气候,地势北高南低、腹部低平,受其所处地理环境影响,易发生气象灾害。农业是旺苍县第一产业,农业生产主要受干

旱、暴雨洪涝以及秋绵雨等气象灾害的影响,农业气象灾害对当地的经济和民生造成了极其严重的损失,因此分析掌握农业气候资源的变化趋势及农业气象灾害发生频次的时空分布,可以为防灾减灾和农业发展规划提供科学指导,有助于降低气象灾害对农业造成的损失。国内研究学者对川滇交界干热河谷地区、淮河流域南部、鲁西南地区、广东省等地区的农业气象资源及气象灾害的时空特征进行了分析^[7-13],但对作物生长期内的农业气候资源分析较少,本研究分析旺苍地区近 37 年农业气候资源时空分布特征,并探究该地区主要农业气象灾害发生特点和规律,以期对旺苍地区提高农业防灾减灾能力及优化农业气候资源利用提供参考依据。

1 研究区域概况及数据来源

旺苍县(32.23°N、106.28°E)隶属于四川省广元市,地势北高南低、腹部低平,平均海拔为 458 m,属于亚热带湿润季风气候。旺苍县四季分明,拥有丰富的水分资源、光热资源,无霜期较长,全年无霜期平均 260 d,山地气候明显。

本研究使用的气候数据来自于四川省气象探测数据中心,主要为 1981—2018 年旺苍县及其周边共计 16 个气象观测站(广元、旺苍、青川、剑阁、苍溪、南部、营山、蓬安、仪陇、西充、阆中、高坪、巴中、通江、南江、平昌)的地面数据,包括日平均气温、日

收稿日期:2020-12-09

基金项目: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-05-04);四川省应用基础研究项目(编号:2018JY0341)。

作者简介:刘琰琰(1982—),女,河南南阳人,博士,副教授,从事农业气候资源评价、农业气象防灾减灾研究。E-mail:liuyy@cuit.edu.cn。

通信作者:王鑫,硕士,高级工程师,从事农业气象与卫星遥感监测应用研究。E-mail:99500803@qq.com。

照时数、最高气温、最低气温、20—20 时降水量 5 项。地形数据采用国家基础地理信息中心提供的 1:250 000 的数字高程模型 (DEM) 数据。

2 研究方法

2.1 农业气候资源统计分析方法

主要统计旺苍县 1981—2018 年期间日平均气温 $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的起始日期、持续时间 (d) 及作物生长期内的积温、降水量、日照时数等,分析该地区农业气候资源的分布及变化特征以及主要自然灾害 (如干旱、暴雨洪涝及秋绵雨等) 发生频率和空间分布特征。

2.1.1 稳定通过界限温度起止日期的确定 界限温度是指象征着某些物候现象或者作物生长发育起止、农业活动起止的日平均温度。春季 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 是喜温作物开始播种与生长、喜凉作物开始迅速生长的界限温度, $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上的持续时间为喜温作物的生长期^[14]。日平均气温稳定通过 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的时期是越冬作物生长活跃期和喜温作物生长活动期^[15]。本研究旨在分析旺苍的农业气候资源,故选用 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 作为评估当地作物生长发育热量条件的界限温度,以 $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的持续时间 (d) 作为作物的温度生长期,春季日平均气温 $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 作物开始生长发育,秋季日平均气温 $< 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 作物生长发育速度减缓,采用 5 日滑动平均法计算稳定通过界限温度的起止日期。

2.1.2 活动积温的计算 温度常常是影响发育的主要因子,积温更能准确地反映出作物生育期间对温度的要求^[16-18]。大于或等于作物生长下限温度 (如 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$) 的日平均温度称为活动温度,再逐日累计加起来叫活动积温。活动积温在农业气候分析、区划和农业气象预报方面都有重要影响。活动积温计算的具体方法如下:

$$A_a = \sum_{i=1}^n T_i, T_i > B; T_i \leq B, T_i = 0. \quad (1)$$

式中: A_a 表示活动积温; T_i 是第 i 天的平均气温; B 是界限温度,本研究取 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

2.2 主要气象灾害指标的确定

2.2.1 干旱指标的确定 干旱是指某地区长时间少降水或无降水,水量亏缺,不足以满足人类生存和经济发展的气象灾害。干旱对作物影响与作物的种类以及干旱发生的时间段息息相关^[19-21]。春旱使春播作物缺苗断垄,越冬作物不能正常生长。7—8 月的伏旱会危害玉米、水稻,使其不能正常生长。

旺苍县地处亚热带湿润季风气候区,具有东亚季风气候区冬干夏雨的基本气候特点,90% 的年份会出现冬干、春旱;夏季,旺苍县处于西太平洋副热带高压的西北侧,受地形和暖湿气流影响,易形成降水,但降水相对集中,夏旱易多发、频发^[22]。根据旺苍地区干旱发生的特点及规律,将其分为春旱、夏旱和伏旱 3 种。

2.2.1.1 春旱 对选取的任意站点,计算 3 月 1 日至 5 月 5 日之间滑动 30 d 降水量,当滑动 30 d 降水量出现 $\leq 20\text{ mm}$ 且在该滑动时段的前 3 d 内无日降水量 $\geq 10\text{ mm}$ 时,该滑动时段的起始日期为春旱的开始时间。当滑动 30 d 降水量从 $\leq 20\text{ mm}$ 上升为 $> 20\text{ mm}$,且其后 3 d 无日降水量 $\geq 10\text{ mm}$ 时,则将滑动 30 d 降水量 $\leq 20\text{ mm}$ 滑动时段的终止时间为该次春旱的结束日期。将确定的开始时间到结束时间视为该站点发生了 1 次春旱,开始到结束所持续的时间则视为春旱持续时间 (d)。

2.2.1.2 夏旱 对选取的任意站点,计算 4 月 26 日至 7 月 5 日之间的滑动 20 d 降水量,当滑动 20 d 降水量出现 $\leq 30\text{ mm}$ 且在该滑动时段的前 2 d 内无日降水量 $\geq 25\text{ mm}$ 时,该滑动时段的起始日期设置为夏旱的开始时间。当滑动 20 d 降水量从 $\leq 30\text{ mm}$ 上升为 $> 30\text{ mm}$ 且其后 2 d 无日降水量 $\geq 25\text{ mm}$ 时,则滑动 20 d 降水量 $\leq 30\text{ mm}$ 滑动时段的终止时间为该次夏旱的结束日期。将确定的开始时间到结束时间视为该站点发生了 1 次夏旱,开始到结束所持续的时间则视为夏旱持续时间 (d)。

2.2.1.3 伏旱 对选取的任意站点,计算 6 月 26 日至 9 月 5 日之间滑动 20 d 降水量,当滑动 20 d 降水量出现 $\leq 35\text{ mm}$ 且在该滑动时段的前 2 d 内无日降水量 $\geq 25\text{ mm}$ 时,该滑动时段的起始日期预置为伏旱的开始时间。当滑动 20 d 降水量从 $\leq 35\text{ mm}$ 上升为 $> 35\text{ mm}$ 且其后 2 d 无日降水量 $\geq 25\text{ mm}$ 时,则滑动 20 d 降水量 $\leq 35\text{ mm}$ 滑动时段的终止时间为该次伏旱的结束日期。将确定的开始时间到结束时间视为该站点发生了 1 次伏旱,开始到结束所持续的时间则视为伏旱持续时间 (d)。

2.2.2 暴雨指标的确定 旺苍县受所处地理位置影响,夏季多雨且降水集中。暴雨严重影响农作物生长发育及其产量,主要体现在暴雨时段光照条件不足、造成农作物机械损伤以及在抽穗开花期影响作物授粉。同时暴雨也会导致低洼地区农田积水,甚至引发洪涝,对当地的经济造成巨大的损失。

暴雨过程降水量是指通过连续降水时间把过程降水量划分为一个过程,一旦出现降水量为 0 则视为该过程已经结束,要求在此过程中降水量大于等于 50 mm 的时间至少 1 d,然后累加整个过程降水量。先统计旺苍县及周边共计 16 个站点 1~10 d (包含 10 d 以上)的暴雨过程降水量,将过程降水量作为 1 个序列,建立 10 个时间长度不同的降水过程序列;计算各个序列的第 60、第 80、第 90、第 95、第 98 百分位数的降水量,并以此作为划分暴雨强度的标准将暴雨分为 5 个等级(表 1),最后计算各台站不同暴雨等级发生频次。

表 1 暴雨分级标准

暴雨等级	百分比(%)
1 级	[60,80)
2 级	[80,90)
3 级	[90,95)
4 级	[95,98)
5 级	[98,100]

基于暴雨强度等级越高,所占权重越大的原则,将暴雨强度 5 级权重取 5/15,4 级权重取 4/15,3 级权重取 3/15,2 级权重取 2/15,1 级权重取 1/15。利用加权综合评价法,计算暴雨加权频次来分析暴雨灾害产生的危害程度。

2.2.3 秋绵雨指标的确定 四川气候特点之一是秋多绵雨(华西秋雨)。秋绵雨带来的低温阴雨寡照天气,轻则延长玉米和水稻的成熟期,重则使谷粒发芽、作物倒伏等。秋绵雨的统计方法为:对选取的任意站点,每年 9—11 月当日降水量 ≥ 0.1 mm 且降水时间持续 7 d 及其以上则计为 1 次秋绵雨。

2.3 数据处理方法

2.3.1 气候倾向率 利用气候倾向率法来表征某一农业气候因子随时间的变化趋势,即把统计出的气象变量和其对应的时间进行线性拟合,建立一元线性拟合方程。并利用最小二乘法对回归系数和回归常数进行分析估计,得到气候倾向率。当气候倾向率大于 0 时,说明该气象因子随时间变化呈上升趋势;反之,当气候倾向率小于 0 时,该气象因子随时间变化呈下降趋势^[23]。

气象变量和时间序列相拟合后得到一元线性回归方程

$$x_i = a + bt_i, i = 1, 2, \dots, n. \quad (2)$$

式中: x_i 代表某一个含有 n 个样本的气象变量; t_i 是

其对应的时间序列; a 是回归常数; b 是回归系数; $b \times 10$ 是气候倾向率。利用最小二乘法对 a 和 b 进行估计为

$$a = \bar{x} - b \bar{t};$$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n x_i t_i - \frac{1}{n} (\sum_{i=1}^n x_i) (\sum_{i=1}^n t_i)}{\sum_{i=1}^n t_i^2 - \frac{1}{n} (\sum_{i=1}^n t_i)^2};$$

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i;$$

$$\bar{t} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i. \quad (3)$$

2.3.2 空间分布分析 运用同一方法对 16 个站点资料逐一处理并求出每个站点每个气象要素的平均值,利用 ArcGIS 10.4 的反距离权重法进行插值,并叠加国家基础地理信息中心提供的 1:250 000 的 DEM 数据,得到各气象要素的空间分布图。气象灾害统计则是通过对各个站点的气象灾害频次进行统计,运用 ArcGIS 10.4 的反距离插值及模糊叠加作出旺苍县气象灾害的空间分布图。其中暴雨是通过划分不同等级(划分为 5 个等级)频次进行统计分析,得出空间分布,并在此基础上根据每一级暴雨的权重划分出相应的危险性区域。

3 结果与分析

3.1 农业气候资源时空分布特征

3.1.1 喜温作物稳定通过 10℃ 持续时间及起止日期的变化特征 旺苍县 1981—2018 年作物稳定通过 10℃ 持续时间变化见图 1,近 37 年旺苍县稳定通过 10℃ 的持续时间呈上升趋势,年平均稳定通过 10℃ 日数为 253 d。作物稳定通过 10℃ 持续时间逐渐增加意味着作物生长期的延长,有利于作物的有机物积累,提高农作物的质量与产量。由图 2 可知,旺苍县大部分地区的年平均稳定通过 10℃ 持续时间都在 250 d 以上,只有东部小部分区域生长期持续时间小于 250 d。

旺苍县 1981—2018 年稳定通过 10℃ 的初终日期(用日序表示)变化见图 3,用 1~365 d(闰年为 1~366 d)来表示 1 年中的日期。稳定通过 10℃ 的开始日期随时间呈下降趋势,稳定通过 10℃ 的结束日期随时间呈上升趋势。开始日期的提前和结束日期的滞后表明了作物稳定通过 10℃ 日数随时间呈上升趋势。开始日期对应的日序平均值为 70.9 d,结束日期对应日序平均值为 324.5 d,表明

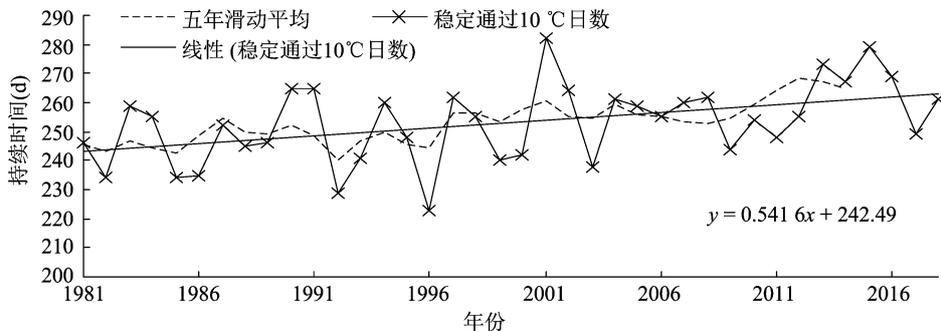


图1 1981—2018年旺苍稳定通过10℃日数变化

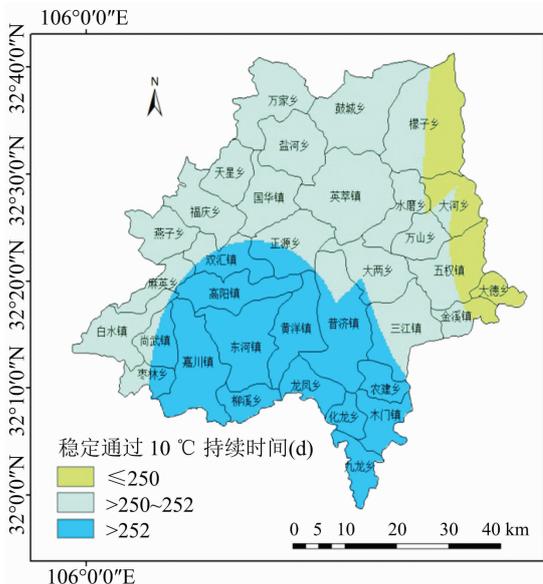


图2 1981—2018年旺苍稳定通过10℃日数空间分布

旺苍县稳定通过10℃开始日期在3月11日左右，而结束日期在11月20日左右。

3.1.2 喜温作物生长期热量资源的变化特征 由图4可知，旺苍县的生长期积温有较为明显的年际变化和年代变化特征。生长期积温最大值出现2015年，为5705.44℃·d，最小值出现在1992年，为4802.52℃·d。作物生长期内的积温变化随时间呈上升趋势，表明从20世纪80年代至今，旺苍县的热量资源条件越来越适宜当地作物的生长发育。

由图5可知，旺苍县积温主要呈南高北低的分布特征，积温范围集中在4254.5~5617.7℃·d之间，低热量区较少，主要是集中在中部和北部的鼓城乡、檬子乡、盐河乡、英萃镇、水磨乡和大河乡，这些地区可能对旺苍县作物生长和产量有一定影

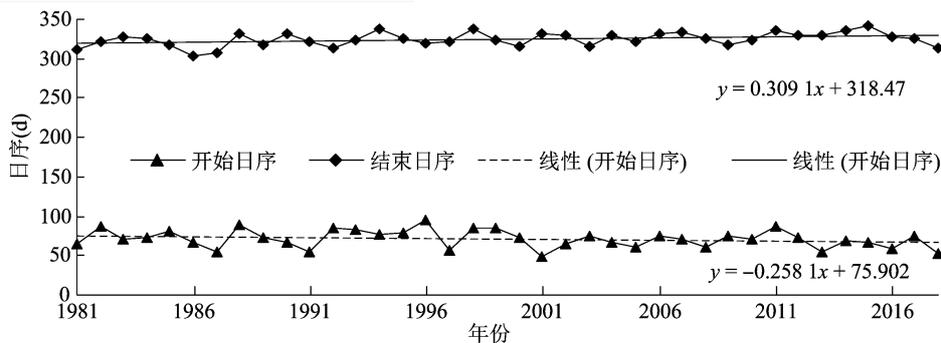


图3 1981—2018年旺苍稳定通过10℃起止日期(日序)变化

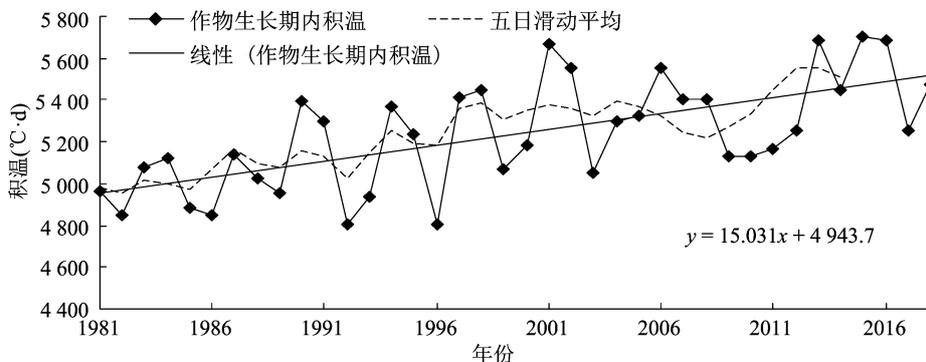


图4 1981—2018年旺苍稳定通过10℃积温变化

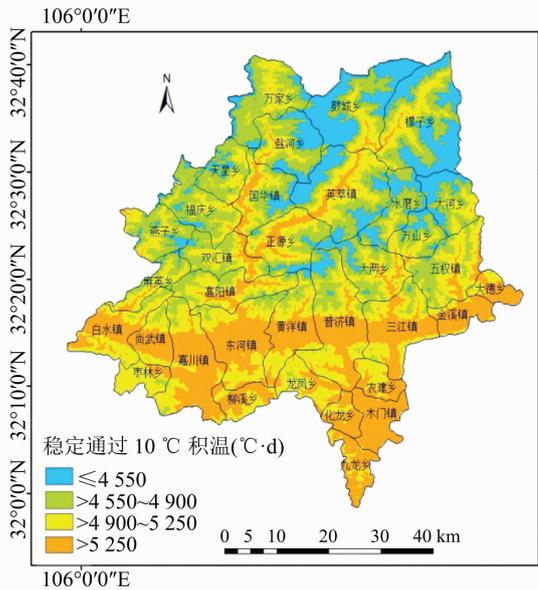


图5 1981—2018年旺苍稳定通过10℃积温空间分布

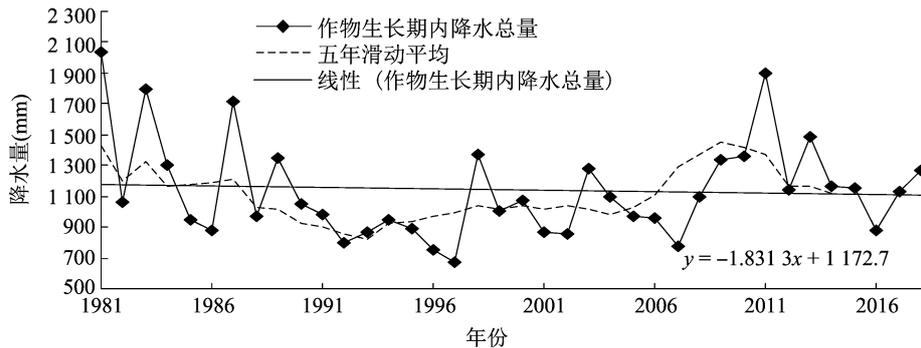


图6 1981—2018年旺苍生长期内降水变化

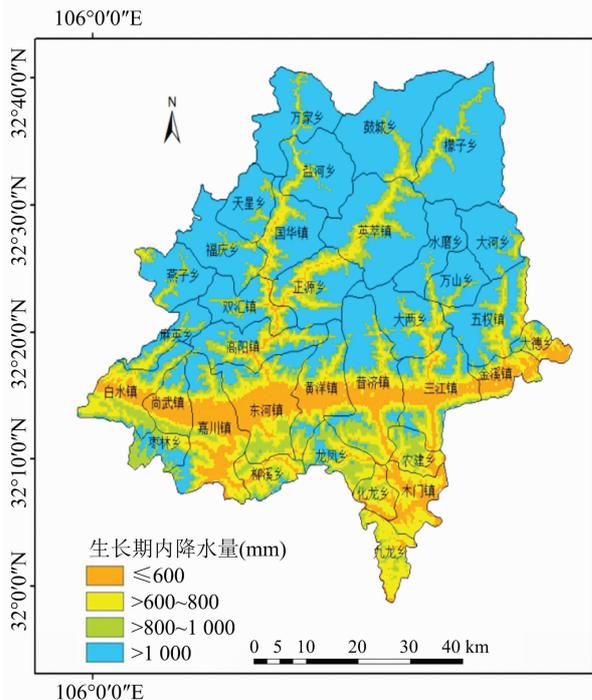


图7 1981—2018年旺苍生长期内降水空间分布

响。高热量区主要集中在旺苍县南部的低海拔地区,热量条件充足,有利于植物生长发育。

3.1.3 喜温作物生长期水分资源的变化特征 降水是影响农业的主要因素之一,其中降水对于当地农作物的种类以及农业生产的类型起着决定性作用。对水资源要求较高的作物需要种植在降水丰富的地区,如水稻等,耐旱作物可以种植在降水较少的地区。

由图6、图7可知,近37年旺苍县在农作物生长期内的降水量整体呈下降趋势,1990—2010年降水量相比其他年份较少,且变化幅度不大。1981年生长期内降水量为2035.5mm,为37年来最大值,最小值出现在1997年,为676.9mm。空间分布主要呈北多南少特征,生育期内降水量最大值主要分布在旺苍县中部和北部区域,最小值主要集中在南

部低海拔地区,横跨白河镇、尚武镇、嘉川镇、东河镇等,东西方向上呈带状分布。

3.1.4 农作物生长期日照资源的变化特征 图8至图9为旺苍县1981—2018年生长期年日照时数和变化和空间分布情况。近37年旺苍县的生长期年日照时数总量整体较平稳,起伏较小,且呈上升趋势。年日照时数总量最大值为1248.4h,出现在1990年,最小值出现在2003年,为719.2h。空间分布表现为南多北少的特征,年日照时数总量小于600h的区域主要分布在旺苍县的中部以及北部大范围地区,光照少的地区不利于农作物生长发育。大于1000h的区域主要集中在旺苍县南部的低海拔地区,这些区域日照充足,有利于农作物光合作用和有机的积累。

3.2 主要气象灾害时空分布特征

3.2.1 干旱 由图10至图12可知,近37年旺苍县各类干旱发生频次均呈下降趋势,除个别2~3年出现3次旱情外,其他大部分年份只出现1次或没

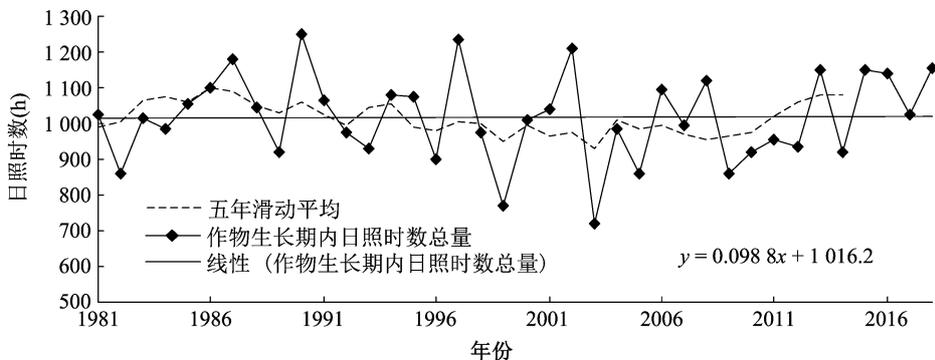


图8 1981—2018年旺苍生长期内日照变化

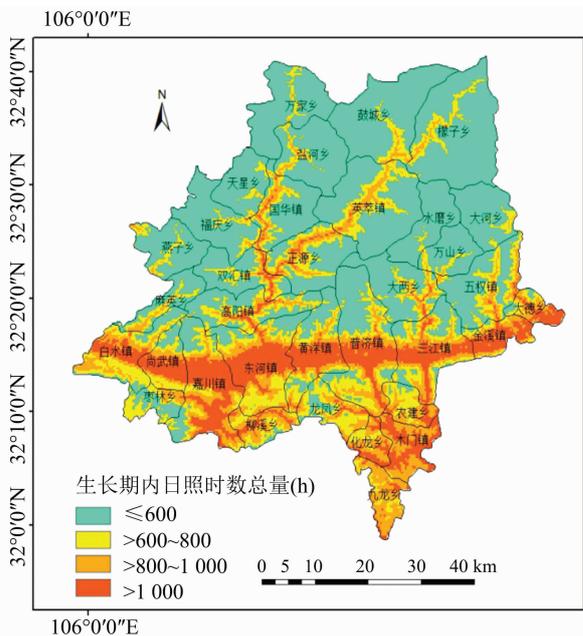


图9 1981—2018年旺苍生长期内日照空间分布

有旱情发生。从空间分布(图13至图15)来看,春旱频次和夏旱频次均表现为由西至东逐渐减小的趋势,春旱和夏旱频发区主要集中在旺苍西部地区,其中尤以白水镇和燕子乡春旱频次最高,东部地区春旱发生频次最少。伏旱频次分布与春旱、夏旱有所不同,伏旱高发区主要集中在旺苍东南部的九龙乡和木门镇,此外化龙乡、三江镇和农建乡也是伏旱发生频次较高区,旺苍其他地区基本属于伏旱发生频次较低区。

3.2.2 暴雨 根据持续降水过程的时间不同,建立不同时间长度的降水过程序列,再通过计算各个时间序列的不同百分位数将降水过程划分为5个等级。基于暴雨强度等级越高,所占权重越大的原则,利用加权综合评价法,计算暴雨加权频次,以分析暴雨灾害产生的危害程度。暴雨频次随暴雨等级的升高而逐渐减少,各级暴雨的空间分布均呈北

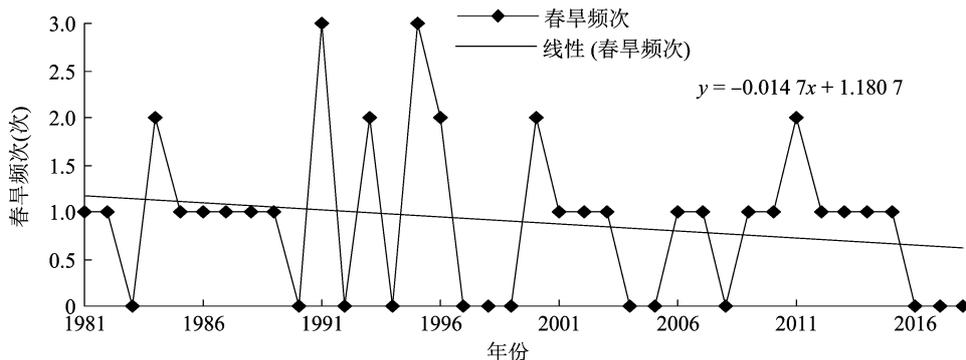


图10 1981—2018年旺苍春旱频次变化

高南低的特征(图略)。

由图16可知,旺苍暴雨发生频次基本呈东西向分布,高频次和次高频次区主要集中在旺苍西部的燕子乡、白水镇、福庆乡、天星乡和万家乡,旺苍中部和东部大部地区暴雨频次较低。

3.2.3 秋绵雨 由图17可知,近37年旺苍县发生

秋绵雨的频次呈下降趋势。只有1981、1984、1985、1999、2000年这5个年份发生了2次秋绵雨,其他年份都只发生了1次或者没有出现过秋绵雨,21世纪以来出现秋绵雨的频次变化较平稳,没有出现1年多发的情况。从空间分布(图18)来看,秋绵雨发生次数较多的地区主要集中在旺苍西部各乡镇,如

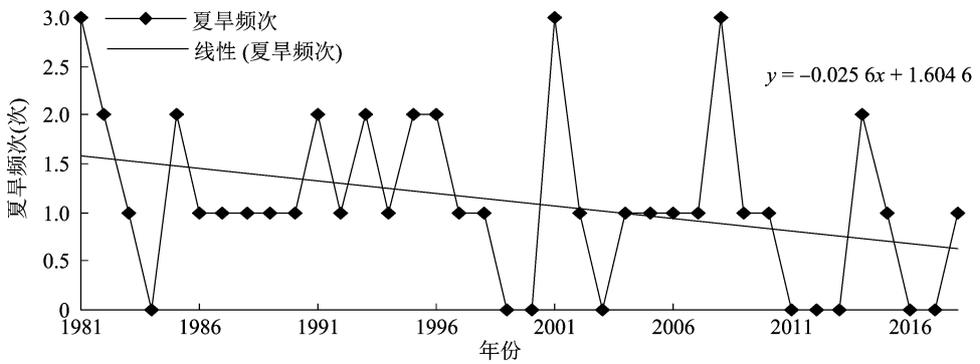


图11 1981—2018年旺苍夏旱频次变化

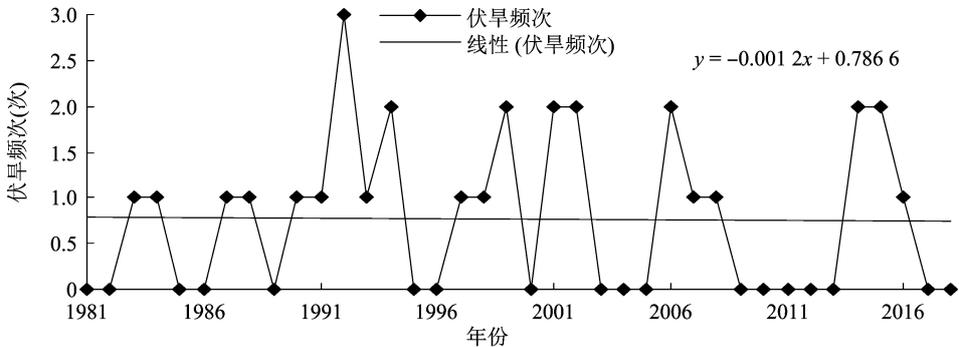


图12 1981—2018年旺苍伏旱频次变化

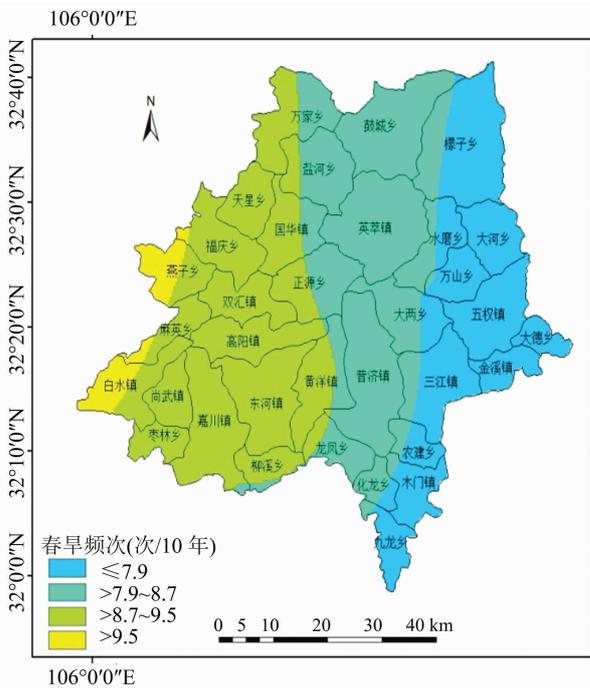


图13 1981—2018年旺苍春旱频次空间分布

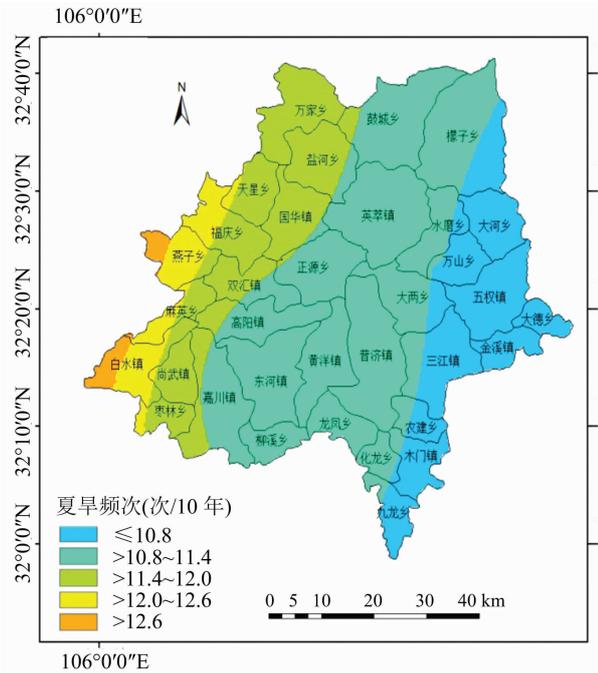


图14 1981—2018年旺苍夏旱频次空间分布

白市镇、燕子乡和麻英乡等,发生次数较少的区域主要集中在旺苍中南部地区,如九龙乡、化龙乡、柳溪乡、东河镇等。整体来看,秋绵雨的发生频次呈东少西多特征,对光照和水分条件要求较高的农作物适宜种植在旺苍县西部。

4 结论与讨论

本研究基于1981—2018年旺苍县及周边共计16个站点的观测资料,利用ArcGIS技术,分析了旺苍县农业气候资源以及主要气象灾害的时空分布特征,得出结论如下:稳定通过10℃的持续时间呈

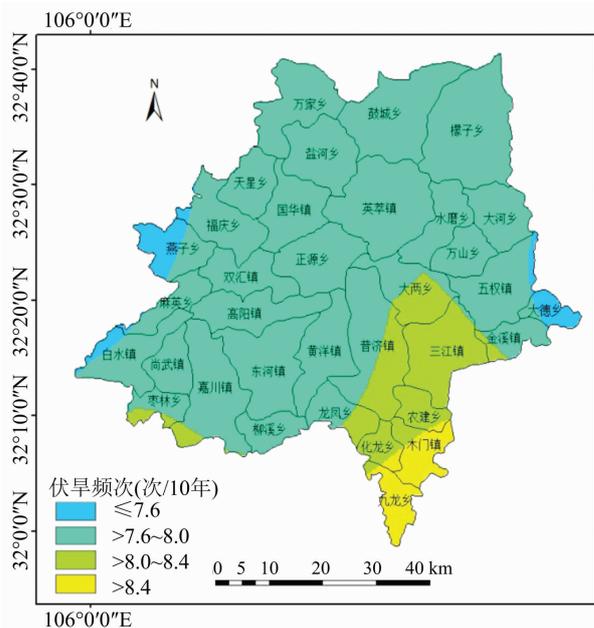


图15 1981—2018年旺苍伏旱频次空间分布

上升趋势,年平均稳定通过 10 ℃ 的持续时间为 253 d,一般是 3 月 11 日至 11 月 20 日;生长期积温气候倾向率在本研究测定的气象指标中最大,呈上升趋势;生长期降水量呈下降趋势,年均 1 137 mm;生长期年日照时数总量呈微弱上升趋势,年均 1 018 h。从空间分布来看,稳定通过 10 ℃ 的持续时间以及生长期内的积温、年日照时数总量分布都呈南多北少特征,而降水量则呈北多南少特征。

干旱频次呈下降趋势,春旱、夏旱频次都有明显的东西差异,伏旱主要是在旺苍南部频发,夏旱的发生频次最高,平均为 11 次/10 年,伏旱发生频次最低,平均为 8 次/10 年。

旺苍县的暴雨频次随暴雨等级的升高而逐渐减少,1 级暴雨发生频次最多,为 6 次/10 年,5 级暴雨发生频次最少,为 0.6 次/10 年。各级暴雨的空

表 2 旺苍不同等级暴雨强度降水量范围

天数 (d)	降水量(mm)					暴雨值
	1级[60%,80%)	2级[80%,90%)	3级[90%,95%)	4级[95%,98%)	5级[98%,100%]	
1	63.8 ~ 66.9	66.9 ~ 89.3	89.3 ~ 103.5	103.5 ~ 127.1	≥127.1	50
2	84.8 ~ 104.5	104.5 ~ 117.9	117.9 ~ 122.2	122.2 ~ 127.1	≥127.1	50
3	119.7 ~ 173.2	173.2 ~ 219.9	219.9 ~ 221.2	221.2 ~ 221.5	≥221.5	50
4	166.4 ~ 240.1	240.1 ~ 303.3	303.3 ~ 317.2	317.2 ~ 402.3	≥402.3	50
5	144.1 ~ 165.3	165.3 ~ 220.9	220.9 ~ 237.8	237.8 ~ 256.6	≥256.6	50
6	120.0 ~ 138.0	138.0 ~ 222.7	222.7 ~ 229.5	229.5 ~ 236.2	≥236.2	50
7	112.4 ~ 212.0	212.0 ~ 243.5	243.5 ~ 383.3	383.3 ~ 523.2	≥523.2	50
8	161.9 ~ 170.8	170.8 ~ 257.8	257.8 ~ 271.9	271.9 ~ 285.9	≥285.9	50
9	236.0 ~ 243.0	243.0 ~ 246.5	246.5 ~ 248.0	248.0 ~ 250.0	≥250.0	50

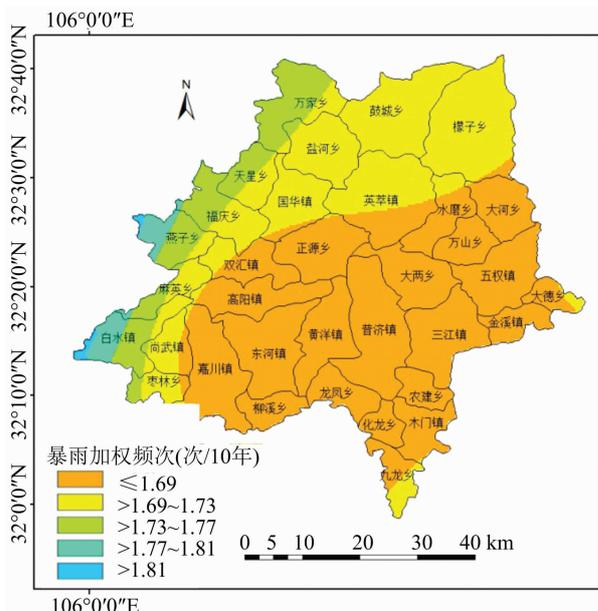


图16 1981—2018年旺苍暴雨加权频次空间分布

间分布均呈北高南低特征,暴雨发生频次的高值区主要集中在旺苍西部的白水镇和燕子乡等地。

秋绵雨发生频次呈下降趋势,平均为 8 次/10 年,21 世纪以来出现秋绵雨的频次变化较平稳,未出现 1 年多发的情况。空间分布特征为东少西多,秋绵雨发生频次的高值区主要分布在白水镇和燕子乡。

本研究对于旺苍县农业气候资源分析采用是农作物生长期内的气象观测数据,对灾害的分析也通过分类、分级进行讨论,相较于以往的研究,所得结果更为直观,与农作物实际生长过程也更加贴合,可为旺苍地区提高农业防灾减灾能力及优化农业气候资源利用提供参考依据。

参考文献:

[1] 沈永平,王国亚. IPCC第一工作组第五次评估报告对全球气候

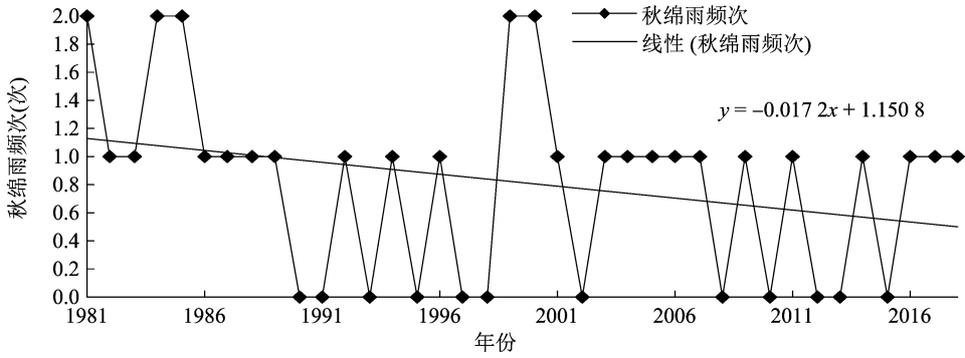


图17 1981—2018年旺苍秋绵雨频次变化

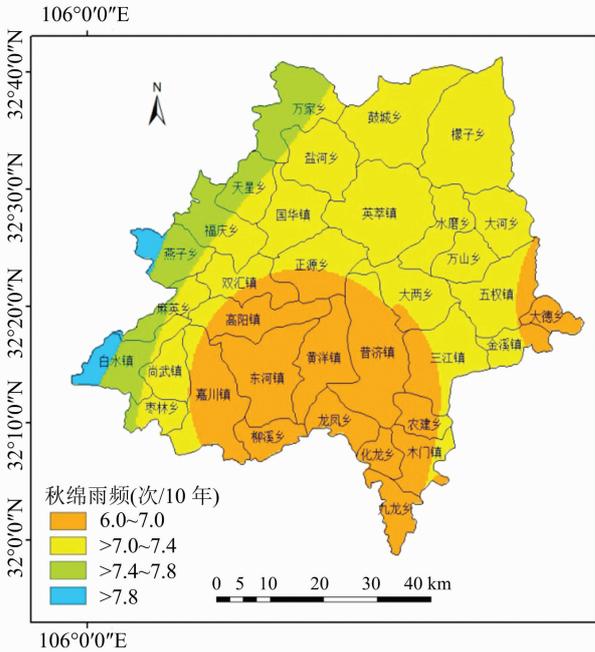


图18 1981—2018年旺苍秋绵雨频次空间分布

变化认知的最新科学要点[J]. 冰川冻土, 2013, 35(5): 1068 - 1076.

[2] 秦大河, 丁一汇, 苏纪兰, 等. 中国气候与环境演变评估(I): 中国气候与环境变化及未来趋势[J]. 气候变化研究进展, 2005(1): 4 - 9.

[3] 张敏锋, 冯霞. 我国雷暴天气的气候特征[J]. 热带气象学报, 1998, 14(2): 156 - 162.

[4] 王遵娅, 丁一汇, 何金海, 等. 近50年来中国气候变化特征的再分析[J]. 气象学报, 2004(2): 228 - 236.

[5] 代妹玮, 杨晓光, 赵孟, 等. 气候变化背景下中国农业气候资源变化 II. 西南地区农业气候资源时空变化特征[J]. 应用生态学报, 2011, 22(2): 442 - 452.

[6] 曹倩, 姚凤梅, 林而达, 等. 近50年冬小麦主产区农业气候资源变化特征分析[J]. 中国农业气象, 2011, 32(2): 161 - 166.

[7] 杨红雁, 杨星星, 焦磊. 1961—2015年寿阳县气候变化特征及对玉米生产的影响[J]. 中国农学通报, 2018, 34(15): 128 -

134.

[8] 戴声佩, 李茂芬, 罗红霞, 等. 川滇交界干热河谷地区农业气候资源特征[J]. 热带作物学报, 2018, 39(6): 1225 - 1234.

[9] 陈晓艺, 曹雯, 王晓东, 等. 淮河流域南部作物生长季农业气候资源特征分析[J]. 生态环境学报, 2018, 27(6): 1005 - 1015.

[10] 王华, 唐力生, 陈慧华, 等. 气候变化背景下广东冬种生产季气象灾害时空分布特征[J]. 热带气象学报, 2018, 34(4): 570 - 576.

[11] 赵仕慧, 汪圣洪, 张杰. 贵阳市花溪区农业气候资源及主要农业气象灾害分析[J]. 安徽农业科技, 2015, 43(7): 184 - 186.

[12] 陈楠, 黄玉芳, 马慧妍. 鲁西南地区主要气象灾害时空分布特征分析[J]. 中国农学通报, 2018, 34(8): 83 - 89.

[13] 汪甫, 李凯伟, 吴凡, 等. 江西省近56年农业气象灾害时空分布特征[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(22): 317 - 323.

[14] 冯秀藻, 陶炳炎. 农业气象学原理[M]. 北京: 气象出版社, 1991.

[15] 蒋啸, 周旭, 张继, 等. 1961—2015年贵州高原≥10℃积温时空变化特征[J]. 地球与环境, 2019, 47(2): 121 - 130.

[16] 张红, 黄勇, 刘慧娟. 安徽省近30年气候变化的空间特征[J]. 生态环境学报, 2012, 21(12): 1935 - 1942.

[17] 戴声佩, 李海亮, 罗红霞, 等. 1960—2011年华南地区界限温度10℃积温时空变化分析[J]. 地理学报, 2014, 69(5): 650 - 660.

[18] 董满宇, 吴正方. 近50年来东北地区气温变化时空特征分析[J]. 资源科学, 2008, 30(7): 1093 - 1099.

[19] 张淑杰, 张玉书, 纪瑞鹏, 等. 东北地区玉米干旱时空特征分析[J]. 干旱地区农业研究, 2011, 29(1): 231 - 236.

[20] 张建军, 盛绍学, 王晓东. 安徽省夏玉米生长季干旱时空特征分析[J]. 干旱气象, 2014, 32(2): 163 - 168.

[21] 王明田. 气候变化背景下四川农业季节性干旱的发展趋势及应对措施[D]. 雅安: 四川农业大学, 2012.

[22] 姚志国, 王勤, 黄明德, 等. 四川省广元市农业干旱风险评估区划及管理对策[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(27): 16641 - 16643.

[23] 魏风英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 北京: 气象出版社, 1999.