广西寒露风初日变化特征以及对双季晚稻抽穗安全期的影响

邹丽霞[1] 黄祎萱[2] 唐广田[1*] 黄国靓[3] 莫雁雯[3]

(1 广西桂林市气象局,桂林 541001; 2 广西区气象信息中心,南宁 541001; 3 广西桂林市阳朔县气象局,桂林 541999)

摘要 基于广西 1961—2020 年 88 个气象站观测资料,分析寒露风初日时空变化特征、50%及 80%保证率初日,并结合水稻发育期资料对广西双季晚稻抽穗安全期进行分析。结果显示:①在时间上,广西寒露风初日以 0.23 d/10a ($P<0.05$)的速率呈微弱提前趋势,呈不对称的“W”形特征;在空间上,广西寒露风初日呈高纬度早、低纬度晚,山区早、平地晚的“阶梯式”分布特征。②广西寒露风初日存在 22 年、12 年、8 年、3 年 4 个周期变化,其中 22 年是广西寒露风初日的主要周期,未发生明显突变。③广西双季晚稻平均齐穗期以 0.22 d/10a($P<0.05$)的速率推迟,抽穗扬花期遭遇寒露风影响频率为 21.9%。建议适当调整晚稻播种期,使其齐穗期提早 3~7 d。桂中北地区应谨慎推广晚稻中晚熟品种,以避免受突发性的寒露风灾害影响。

关键词 寒露风初日;保证率;安全齐穗

中图分类号: P49;S162 **DOI**: 10.19517/j.1671-6345.20220065 **文献标识码**: A

引言

广西是农业大省,地处低纬度,南临海洋,北接五岭,西延高原,复杂的地理环境和季风气候,造成广西各地气候差异巨大,而农业是受气候影响最敏感的行业[1]。作为广西主要的粮食作物,水稻种植面积约占全区粮食作物面积 63%,其中晚稻播种面积约占水稻种植面积的 47%[2]。露天栽培的水稻对光、温、水都有要求,尤其对温度变化最为敏感[3-4]。水稻在各个生长阶段对环境温度都有要求,温度超过一定范围都不利于干物质的积累[5-6]。特别在水稻生殖生长期间,短期的低温胁迫都能导致水稻生理活动机能严重破坏,造成颖花不育、空壳瘪粒[4,7-8]。独有的“立体”气候特性导致广西农业气象类灾害频发,种类繁多,其中寒露风灾害是制约广西晚稻产量的主要灾害之一,多发于寒露节气前后,而此时多为南方晚稻抽穗扬花关键期。寒露风在广西的发生具有高频次、致灾重、影响范围大等特点。1984 年广西晚稻受灾面积高达 32.13 万 hm^2,单产减产 17.9%[9],1997 年受灾面积超过 30 万 hm^2,单产减产 15%[10]。寒露风对广西影响频繁,桂南地区发生频率为 40%~77%,而桂北地区则接近 100%[11]。

处于不同生育期的水稻对低温的承载能力差异很大。水稻孕穗灌浆期遭遇寒露风,会降低植株净光合作用,导致幼穗分化受阻,颖花分化异常,使籽粒充实度变差,品质变劣,千粒重降低而减产[6,12-14]。通过试验表明,水稻生殖生长期对低温的反应比营养生长期更敏感,幼穗分化期环境温度是影响水稻结实率的重要气象因子[15-17]。全球气候变化背景下,不同区域热量资源变化具有不同的地方特征,东北地区气候增温最为显著[18-19],冷害发生强度及频率理论上也随之减少,但受种植结构变化的影响,灾害风险并未降低[20]。在增暖的大背景下,南方双季晚稻抽穗扬花期的低温胁迫积温每年却在减少,寒露风带来的农业种植损失有加重趋势[21],近几十年来广东、江西重度寒露风发生频率、强度、造成的损失日益严重[22-23]。针对广西地区,

中国气象局预报员专项(CMAYBY2019-096)、广西科技重点研发计划项目(AB17195037)、广西气象科研面上项目(桂气科 2022M06、桂气科 2022M007)共同资助

作者简介:邹丽霞,女,1981 年生,工程师,主要研究方向为农业气象灾害、病虫气象学,Email:382855128@qq.com

收稿日期:2022 年 2 月 21 日;定稿日期:2023 年 1 月 6 日

* 通信作者,Email:lendy80@163.com

也有学者认为寒露风影响趋于减弱,并在1998年发生突变[24]。在广西农业气候资源配置格局发生显著变化的背景下,何燕等[25-26]以水稻安全生育期、热量资源为基础,详细探讨了气候变化对广西水稻种植布局的影响。寒露风初日的出现时间是构成晚稻冷害的重要因素之一[27],但关于寒露风初日变化对广西双季晚稻抽穗安全期影响却鲜有探讨,因此,本研究以长时段气象资料、水稻发育期为基础,分析不同保证率下广西寒露风初日时空分布特征及双季晚稻安全齐穗最佳时段,旨在为广西预测寒露风初日及合理调整双季稻种植结构和优化生产布局提供理论基础。

1 资料与方法

1.1 资料

气象数据来自广西气象局,包括广西88个国家气象站1961—2020年9—10月逐日平均气温、极端最低气温、经纬度、海拔高度等。晚稻抽穗期观测资料由广西15个农业气象观测站提供,广西区1∶25万基础地理信息数据来源于国家基础地理信息中心。

1.2 寒露风指标

根据《寒露风等级》[28]及南方地区农业气象观测业务惯例定义广西双季晚稻(杂交稻)寒露风天气过程:在9月1日至10月20日期间,当日平均气温≤22 ℃且持续天数≥3 d,记为寒露风开始期。

1.3 研究方法

利用Python编程统计寒露风初日,采用概率论分析寒露风发生的基本气候特征,采用均值法分析寒露风初日的空间分布,采用气候倾向估计法计算寒露风初日的变化趋势,分别采用Morlet小波和Mann-Kendall(M-K)法检测广西寒露风初日的时间周期特性和突变特征。采用寒露风次数与总统计年数的比率计算其发生频率,水稻齐穗前若发生寒露风,则当年参与统计,否则不统计。

采用经验频率法统计挑取寒露风50%、80%保证率初日,50%保证率初日是表征寒露风首次出现的平均特征参数,80%保证率初日表示大多数年份晚稻在该时间能够安全齐穗。其计算公式为:

$$P_i = [m_i/(n+1)] \times 100\% \quad (1)$$

式中,i为统计年份,P_i为气象要素经验频率(保证率),m_i为安全日期序列号,n为资料年数。

2 结果分析

2.1 广西寒露风初日时空变化特征

2.1.1 时间变化

图1给出了广西寒露风平均初日变化,可以看出,近60年来广西平均寒露风初日最早出现时间为9月11日(2006年),最晚出现时间为10月13日(1975年)。从各年代平均值来看,20世纪80年代、21世纪00年代寒露风初日出现最早,出现时间为9月30日,20世纪60年代寒露风初日出现最晚,出现时间为10月3日。整个分析周期内,广西寒露风初日以0.23 d/10a($P<0.05$)的速率呈微弱提前趋势。20世纪60年代至21世纪10年代的寒露风初日是分别为10月3日、10月2日、9月30日、10月2日、9月30日、10月2日,整体呈不对称的“W”形特征。

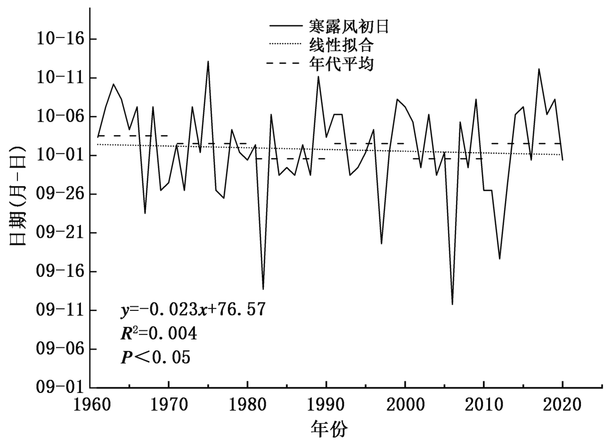

图1 1961—2020年广西寒露风平均初日的年际及年代际变化

2.1.2 空间变化

广西与云贵高原接壤,经纬跨度大,西北高东南低,境内群山起伏,地形地貌复杂,因而气候具有明显的垂直及水平差异。寒露风初日的分布不但受大气环流、季风变化影响,而且与其独特的地形及下垫面性质关系很大。计算1961—2020年单站寒露风平均初日及其气候倾向率,利用反距离权重(IDW)方法进行插值并绘制广西寒露风平均初日及其气候倾向率的空间分布(图2)。由图2a可见,广西各地寒露风初日出现时间有明显的地域性差异,88个气象站中,19.3%的站点寒露风平均初日出现在9月,80.7%的站点寒露风初日出现在10月。就单站而

言，最早寒露风初日为 9 月 7 日，出现在乐业，次早为 9 月 11 日，出现在金秀，海拔高是其寒露风偏早的主要原因。最晚寒露风初日为 10 月 11 日，出现在龙州，次晚为 10 月 10 日，出现在南宁、北海等 6 个站点。最早与最晚寒露风初日的差值为 34 d。近 60 年来，广西寒露风初日呈高纬度早、低纬度晚，山区早、平地晚的“阶梯式”分布。因为受地理位置及冷空气路径的影响，冷气团由北向南移动，所以桂北寒露风初日必定早于桂南。

图 2b 是近 60 年广西 88 个站点寒露风初日变化趋势的空间分布，51.1%的站点呈提前趋势（$P<0.05$），多数站点提前速率在 0.31～0.92 d/10a，位于桂北地区的金城江及平乐提前速率较大，分别为 1.48 d/10a、1.35 d/10a。其余 48.9%的站点寒露风初日呈推迟趋势（$P<0.05$），多数站点推迟速率在 0.28～1.38 d/10a，其中推迟较为明显的是位于桂西北地区的那坡及乐业，推迟速率分别为 1.60 d/10a、1.53 d/10a。

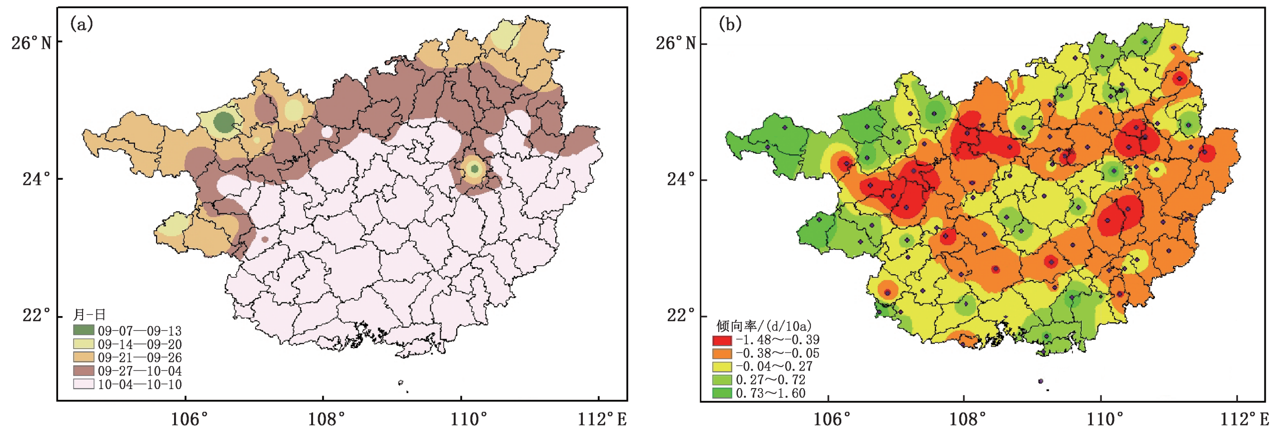

图 2　1961—2020 年广西寒露风平均初日(a)及其气候倾向率(b)空间分布

2.2　周期分析和突变特征

图 3 是近 60 年广西寒露风初日在多种时间尺度上的周期震荡，等值线相对密集的下半部分代表较短时间尺度的周期振荡，而相对稀疏的上半部分代表较长时间的周期振荡，小波系数实部等值线为实线（正值）时表示寒露风初日推迟，小波系数实部等值线为虚线（负值）时表示寒露风初日提前，小波系数绝对值的大小代表信号变化的强度。由图 3 可知，不同时间尺度对应的寒露风初日特征存在明显差异，大尺度周期嵌套了不同数量的小尺度周期，结构复杂。从 15～22 a 时间尺度上可知，周期震荡非常频繁，1961—2020 年，广西寒露风初日经历了推迟—提前—推迟—提前—推迟—提前—推迟—提前—推迟等 9 个循环交替变化，1961—1965 年、1972—1978 年、1986—1994 年、2001—2007 年及 2016—2020 年均为正值，表示寒露风初日推迟，而其他时段均为负值，则表示寒露风初日提前。2020 年等值线仍未闭合，说明未来短期内，广西寒露风初日处于短暂的推迟期。

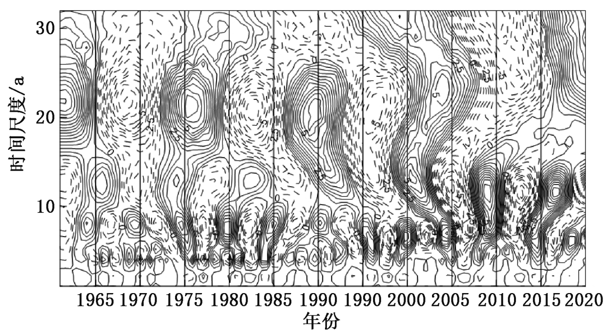

图 3　1961—2020 年广西寒露风初日小波系数实部

小波方差图可清晰的呈现各种时间尺度下能量的变化情况，并能确定单位时间长度内各尺度扰动的强度，其对应的峰值就是该时间序列的主要时间尺度，用于表征时间序列的主要震荡周期。统计广西 88 个台站寒露风初日平均值得到广西寒露风初日，并绘制广西寒露风初日在不同时间的小波方差分布（图 4），由此可见，广西寒露风初日的小波方差存在 22 年、12 年、8 年、3 年等 4 个峰值，其中以时间尺度 22 年周期震荡最强，能量最大，峰值最高，第 2～4 周期分别为 12 年、8 年及 3 年。因而，22 年是

广西寒露风初日的主要震荡周期，而12年则为广西寒露风初日的次要震荡周期。

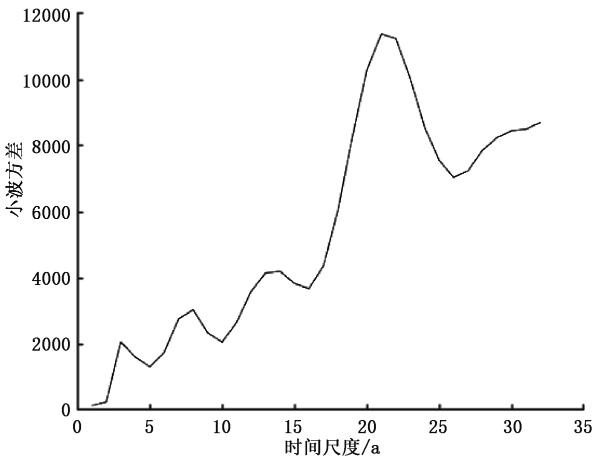

图4 1961—2020年广西寒露风初日小波方差分析

为探究广西寒露风初日是否发生突变，分别对其进行M-K检验(图5a)、滑动T检验(图5b)。由图5a可以看出，1961—2020年广西寒露风初日的U_F统计量主要以负值为主，寒露风初日出现时间序列呈下降趋势，20世纪70年代中期及20世纪90年代至21世纪00年代期间出现小幅上升—下降的波动变化，而2013—2020年则以上升趋势为主。总体来说，U_F和U_B线在20世纪60年代与21世纪10年代多次相交，交点较为混乱，且寒露风初日的U_F值多位于1.96以内，表明寒露风初日的变化未通过0.05的显著性检验。图5b显示了滑动统计量的变化情况，广西寒露风初日自1961年以来，T统计量未发现超过信度线±2.23。综合图5突变检验可以认为，近60年来，广西寒露风初日并未发生明显突变。

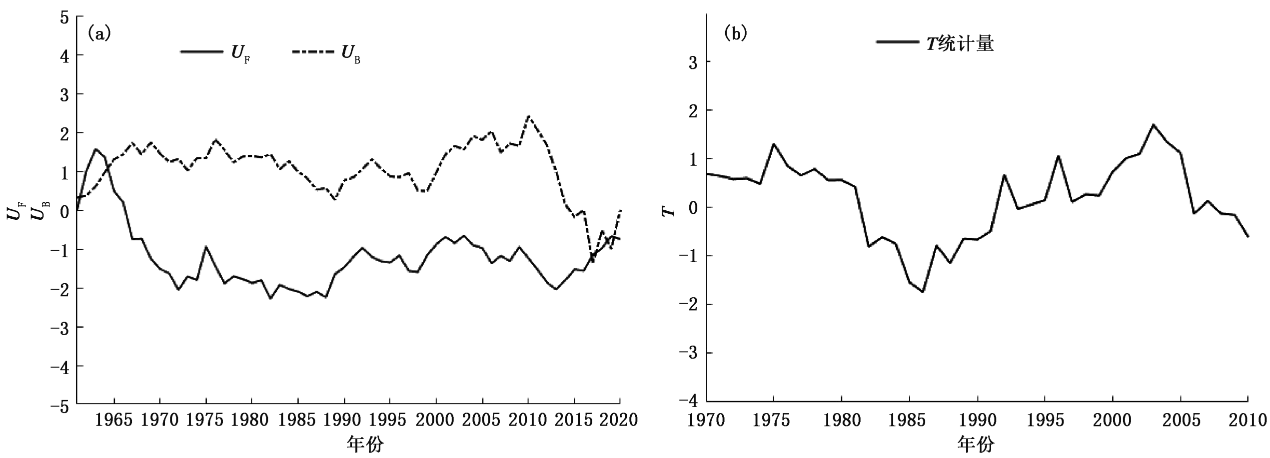

图5 1961—2020年广西寒露风初日M-K突变检验(a)及滑动T检验(b)

2.3 不同保证率寒露风初日

水稻种植要求气候具有一定的稳定性，本文主要考虑50%、80%保证率。寒露风发生50%保证率初日可反映其发生初日的平均情况。由图6a可知，广西寒露风发生50%保证率的初日桂北地区略早，19.3%的站点50%保证率初日出现在9月30日之前，海拔较高的那坡、乐业、金秀、南丹、资源等站出现在9月上旬，其中乐业最早，出现在9月6日。桂中南地区基本出现在10月10日之后。

近60年广西寒露风发生80%保证率初日空间分布如图6b所示，有42%的站点80%保证率初日出现在9月，58%的站点出现在10月中上旬。较50%保证率，寒露风发生80%保证率初日将进一步提前，同一站点提前4～13 d不等，但大部分台站提前9～11 d。受地形及冷空气出现时间等因素影响，80%保证率初日总体呈现高纬度向低纬度逐渐推后的空间分布，但同一纬度寒露风80%保证率初日海拔高的山区远远早于平原，如位于24°～25°N之间的乐业、金秀、南丹出现在9月上旬，而处于同一纬度的鹿寨、柳州、平乐、恭城却出现在10月上旬，同一纬度的山区与平地寒露风80%保证率初日相差近1个月。但总体趋势呈由北向南逐渐推迟，平原晚、高海拔山区早的规律。桂北地区80%保证率初日多数集在中9月15—25日之间，桂南则主要集中在10月5—15日之间。

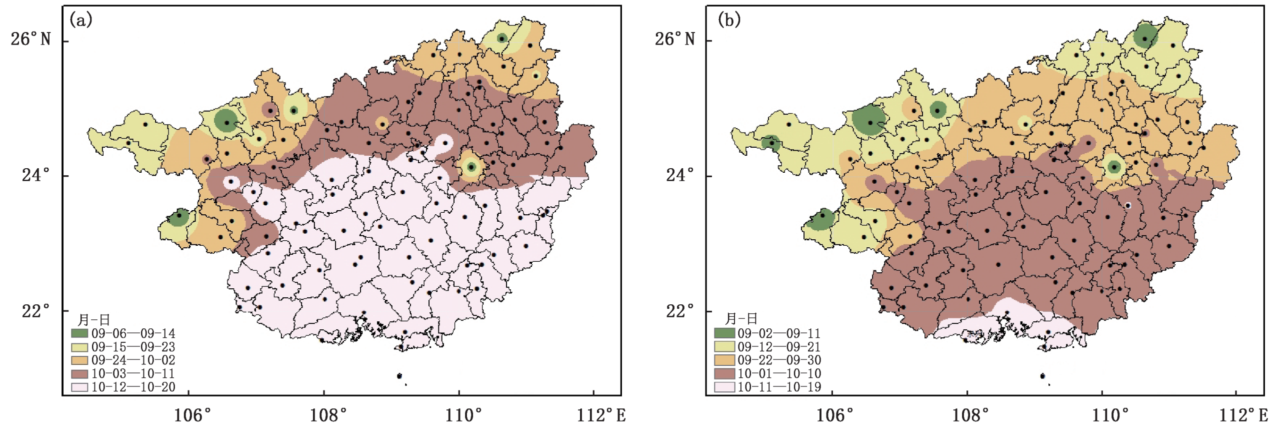

图 6　1961—2020 年 50%保证率(a)及 80%保证率(b)下广西寒露风初日空间分布

2.4　寒露风对广西双季晚稻抽穗扬花影响

研究表明,灌浆初期的前 5 d,温度高低对产量的形成影响最大,6～10 d 次之[29]。寒露风影响程度与发生强度、持续时间呈正相关,同时与水稻发育期进程关系密切,不同抽穗时段出现的寒露风对产量结构影响差异明显,抽穗盛期影响最大,该时段的低温影响系数约是抽穗始期的 3 倍。将广西 15 个农业气象观测站晚稻生齐穗时间进行平均处理,得到广西双季晚稻平均齐穗时间变化趋势(图 7)。由图可知,广西双季晚稻平均齐穗时间为 10 月 3 日,最早平均齐穗期出现在 1998 年(9 月 27 日),最晚出现在 2011 年(10 月 10 日)。从线性变化趋势看,广西双季晚稻平均齐穗期以 0.22 d/10a($P<0.05$)的速率波动推迟,变化趋势显著。

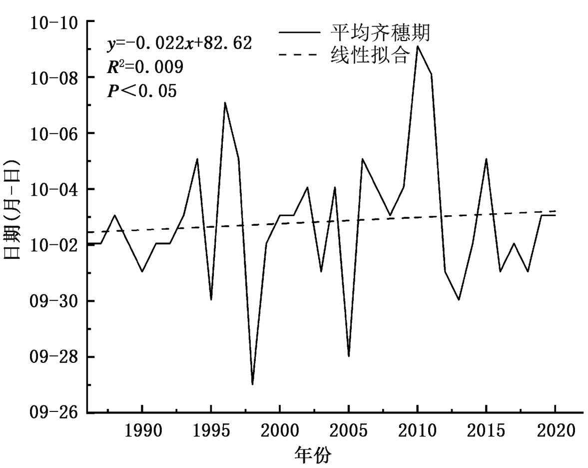

图 7　1986—2020 年广西双季晚稻平均齐穗时间变化

为分析寒露风对广西双季晚稻抽穗扬花的影响情况,将水稻生育期观测结合寒露风发生实况,统计双季晚稻齐穗前寒露风发生频率(表 1)可知,广西双季晚稻花期寒露风平均发生频率为 21.9%,最高频率为 46.7%(天等),最低频率为 6.1%(钦州),此外融安、宜州、苍梧等多地发生频率均超过 30%,除桂南少数地区外,其他大部分地区发生频率均较高。从各年代广西晚稻花期寒露风受害频率来看,20 世纪 90 年代与 21 世纪 10 年代均为 23.3%,21 世纪 00 年代为 20.7%,从整个广西平均角度而言,年代

表 1　广西双季晚稻齐穗前寒露风发生频率　　%

	20 世纪		21 世纪	
	80 年代	90 年代	00 年代	10 年代
广西	21.9	23.3	20.7	23.3
兴安	24.2	10.0	40.0	20.0
桂林	24.2	10.0	30.0	30.0
融安	33.3	40.0	10.0	40.0
沙塘	15.2	10.0	0.0	40.0
宜州	36.4	40.0	40.0	30.0
蒙山	12.9	20.0	10.0	10.0
苍梧	33.3	60.0	40.0	10.0
玉林	12.1	30.0	0.0	10.0
灵山	18.2	20.0	20.0	20.0
钦州	6.1	10.0	0.0	10.0
南宁	18.2	10.0	30.0	20.0
河池	18.2	10.0	10.0	40.0
桂平	20.0	30.0	20.0	10.0
天等	46.7	40.0	60.0	40.0
合浦	10.0	10.0	0.0	20.0

际波动特征并不是特别明显。但部分地区年代际变化非常明显,如桂林、融安、沙塘、河池、合浦等发生频率在20世纪90年代至21世纪10年代均存在着“多—少—多”的变化特征,其中融安、柳州、河池等地区受害频率在21世纪10年代高达40%。从上述分析可知,虽然增温变暖是目前气候变化的主旋律,但受水稻种植布局、发育期变化[25-26]及极端气候事件等诸多因素影响,广西双季晚稻抽穗扬花期寒露风受害频率在波动中呈上升趋势。

2.5 广西双季晚稻抽穗安全期分析

水稻是一种喜温粮食作物,多长于雨热同期的季节,抽穗扬花期对环境温度变化十分敏感。晚稻抽穗扬花期出现的异常低温灾害,会破坏稻穗正常生理机能,诱导颖花不育,增加籽粒空瘪数量,降低千粒重及稻米品质,导致大面积粮食减产。因而,准确分析不同地区晚稻安全齐穗最佳时段,是合理安排晚稻播期,保障广西粮食安全生产的重要依据。根据寒露风不同安全保证率发生初日并结合广西双季观测发育期资料,海拔高度超过500 m的乐业、金秀、西林、那坡、南丹等地区,晚稻在9月5日前完成齐穗受灾风险较低,超过9月10日,寒露风发生概率将超过30%。25°N沿线及以北的全州、灌阳、桂林、融水、环江、金城江等地区双季晚稻在9月10—15日前完成齐穗受灾风险较低,寒露风发生概率多数在5%以内,该区域大多数地区80%保证初日在9月16—20日,而9月20日之后,双季晚稻安全受寒露风影响概率增大。位于24°~25°N的贺州、柳州、来宾、都安及百色右江河谷水稻栽培区沿线,9月20日前完成齐穗受寒露风影响概率在5%左右,受灾风险很低,其80%保证初日在9月20日前后,而9月25日之后,该地区晚稻受寒露风影响概率将增至30%或以上。位于23°~24°N的桂中南地区的梧州、贵港、宾阳、平果一线,9月30日前完成齐穗基本无风险,但10月10日后受寒露风影响的概率将超过20%。而23°N的多数稻区,10月上旬完成齐穗基本无风险,但10月20日后受寒露风影响的概率将增大至20%以上,无法保障安全齐穗。

分析农业气象观测站水稻生育期资料可知,在2000年前后,柳州、河池、融安等地双季稻熟性搭配已由原来的早熟(早稻)+中熟(晚稻)组合调整为中熟(早稻)+中熟(晚稻),但抽穗期受寒露风影响频率也由10%上升至40%。因而桂中北稻区应谨慎大范围推广晚稻中晚熟品种,以避免受突发性的寒露风灾害,造成较以往更加严重的经济损失。统筹考虑生产技术、管理措施、灾害影响、种植习惯及经济因素,建议在不改变现有水稻种植布局的基础上,可适当调整晚稻播种期,将齐穗期在现有基础上提前3~7 d,一方面有利于趋利避害,减轻秋季寒露风影响,另一方面有助于开发冬种潜力,增加农业效益。

3 结论与讨论

3.1 结论

(1)近60年来,广西寒露风初日以0.23 d/10a($P<0.05$)的速率呈微弱提前趋势。20世纪60年代至21世纪10年代的寒露风初日是分别为10月3日、10月2日、9月30日、10月2日、9月30日、10月2日,整体呈不对称的“W”形特征。

(2)寒露风初日呈“阶梯式”分布,高纬度早、低纬度晚,山区早、平地迟;有51.1%的站点寒露风初日呈提前趋势($P<0.05$)。

(3)广西寒露风初日存在22年、12年、8年、3年等4个变化周期,其中主周期为22年,震荡最强,能量最大,峰值最高,次周期为12年,近60年来未发生明显突变。

(4)近60年广西寒露风发生80%保证率初日呈北早南晚的空间分布,有42%的站点80%保证率初日出现在9月,58%的站点出现在10月中上旬。桂北地区80%保证初日多数集在中9月15—25日之间,桂南则主要集中在10月5—15日之间。

(5)广西双季晚稻平均齐穗时间为10月3日,平均齐穗期以0.22 d/10a($P<0.05$)的速率波动推迟,变化趋势显著,在实际生产中,双季晚稻抽穗扬花期遭受寒露风的平均频率为21.9%。

3.2 讨论

抽穗扬花期的耐低温性因水稻品种不同而有差异[30-31],因而寒露风指标的选择是研究晚稻抽穗安全期的关键环节。本文所使用的寒露风指标来自气象部门发布的行标及服务指标。但近年来,与其他省份一样,广西水稻耕作方式发生了变化 ,品种类型更迭快,针对主流品种抽穗扬花期的耐寒性缺乏研究,没有精准的界限温度指标。此外,针对“寒露风”研究所使用的气象数据来自大气候观测场而不是作物冠层温度,与水稻田小气候存在一定的差异。

水稻种植是一个复杂的自然一社会系统[32],粮食产量的变化同时受气候波动和社会生产因素的影响。气候变化背景下,广西大多数地区热量资源呈上升趋势,平均气温的升高使人们误以为秋季寒露风危害将趋于减弱,但分析近 60 年的气象数据显示,因水稻生产布局变化[25],局地性、阶段性的寒露风灾害具有频繁且严重的趋势,这与多数学者的观点一致[19-22,32],但与李艳兰等[11,24]所得到的广西大部地区寒露风初日呈推迟趋势结论不一致,可能原因是所使用资料时间范围不一致。寒露风往往具有突发性、群发性的特点,一旦爆发随之产生的损失则会相当严重,为减轻寒露风影响,建议广西可适当调整播种期,使晚稻齐穗期提早 3～7 d,桂中北地区应谨慎大面积推广晚稻中晚熟品种,以避免受突发性的寒露风灾害影响,造成较以往更加严重的经济损失。这与黄维等[26]的观点不同,主要原因是一个基于气候资源平均态的变化,另一个是基于寒露风的变化。因此,在极端气候事件频繁发生为特征的气候变暖趋势下[19],未来依旧要重视温度异常波动而造成的寒露风影响,以降低粮食生产风险。

参考文献

[1] Salinger M J. Climate variability and change: past, present and future—an overview [J]. Climatic Change, 2005, 70(1-2): 9-29.

[2] 广西壮族自治区统计局. 广西统计年鉴 2019[M]. 北京:中国统计出版社,2019:321-341.

[3] 李易芝,罗伯良,张龙. 湖南春播育秧期不同低温阴雨分布型的环流特征[J]. 气象科技,2017, 45(2):375-382.

[4] Teixeira E I, Fischer G, Van V H, et al. Global hot-spots of heat stress on agricultural crops due to climate change [J]. Agricultural & Forest Meteorology, 2013, 170(2): 206-215.

[5] 潘熙曙,胡定汉,李迎征,等. 水稻低温冷害和高温热害的发生特点及预防措施[J]. 中国稻米,2007(6):52-54.

[6] 单璐璐,谭丽静,白华,等. 低温阴雨对丹东地区粮食作物产量的影响[J]. 气象科技,2017, 45(4):745-749.

[7] 肖国超,徐庆国. 水稻耐冷性的研究与进展[J]. 作物研究,2005(增刊 1):266-272.

[8] Mamun E A, Alfred S, Cantrill L C, et al. Effects of chilling on male gametophyte development in rice [J]. Cell Biology International, 2006, 30(7): 583-591.

[9] 覃卫坚,黄志,李耀先. 广西寒露风开始期短期气候预测方法研究[J]. 气象研究与应用,2014,35(3):11-14.

[10] 蒋振芳. 1997 年广西寒露风天气特点及其对晚稻生产的影响[J]. 广西气象,1998,19(1):36-39.

[11] 李艳兰,苏志,涂方旭. 广西秋季寒露风的气候变化分析[J]. 气象研究与应用,2000,21(增刊 1):54-57.

[12] 宋广树,孙忠富,孙蕾,等. 东北中部地区水稻不同生育时期低温处理下生理变化及耐冷性比较[J]. 生态学报,2011,31(13):3788-3795.

[13] Liu X, Zhang Z, Shuai J, et al. Impact of chilling injury and global warming on rice yield in Heilongjiang Province [J]. Journal of Geographical Sciences, 2013, 23(1): 85-97.

[14] Sthapit B R. Chilling injury of rice crop in Nepal: a review [J]. Journal of the Institute of Agriculture and Animal Science, 1992, 13: 1-32.

[15] 娄伟平,孙永飞,吴利红,等. 孕穗期气象条件对水稻每穗总粒数和结实率的影响[J]. 中国农业气象,2007,28(3):296-299.

[16] 刘一江,匡昭敏,刘梅,等. "寒露风"情景下广西晚稻千粒重和灌浆速度的模拟模型[J]. 南方农业学报,2015,46(8):1430-1435.

[17] 马树庆,王琪,沈享文,等. 水稻障碍型冷害损失评估及预测动态模型研究[J]. 气象学报,2003,61(4):507-512.

[18] 侯依玲,许瀚卿,王涛,等. 未来东北地区农业气候资源的时空演变特征[J]. 气象科技,2019,47(1):154-162.

[19] 冯双磊,靳双龙,刘晓琳,等. CMIP5 全球气候模式对 1981—2005 年东北地表温度的模拟分析[J]. 气象科技,2018,46(6):1154-1164.

[20] 胡春丽,李辑,焦敏,等. 东北地区水稻障碍型低温冷害变化对区域气候增暖的响应[J]. 气象科技, 2015, 43(4):744-749.

[21] 吴立,霍治国,姜燕. 南方晚稻寒露风风险要素的地理分布特征[J]. 生态学杂志,2014,33(10):2817-2823.

[22] 黄珍珠,王春林,陈慧华,等. 气候变化背景下广东寒露风特征及其对晚稻产量的影响[J]. 热带气象学报,2014,30(2):382-386.

[23] 田俊,崔海建. 江西省双季晚稻寒露风影响评估[J]. 中国农业大学学报,2016,21(2):107-114.

[24] 李艳兰,黄卓,谢敏. 近 45 年广西寒露风的时空变化特征[J]. 中国农学通报,2017,33(28):117-122.

[25] 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.

[26] 黄维,吴炫柯,刘梅,等. 气候变暖对广西双季稻安全生产期的影响[J]. 气象科技,2021,49(6):975-982.

[27] 艾婉秀,杨义文,吴孔榕. 中国南方秋季低温冷害的评估分析[J]. 中国农业气象,1998,19(1):5-9.

[28] 王保生,杜筱玲,刘文英,等. QX/T 94-2008 寒露风等级[S]. 北京:气象出版社,2008:1-2.

[29] 李达模,于新民,王洪春. 水稻开花期冷害机理与鉴定指标的研究[J]. 中国农业科学,1986,19(2):12-17.

[30] 马树庆,潘长虹,金龙范,等. 基于高山梯度试验的粳稻开花期低温对结实的影响[J]. 生态学杂志,2018,37(4):1043-1050.

[31] 纪仰慧,王晾晾,姜丽霞,等. 黑龙江省 2009 年水稻障碍型冷害评估[J]. 气象科技,2011, 39(3):374-378.

[32] 曹宏鑫,赵锁劳,葛道阔,等. 作物模型发展探讨[J]. 中国农业科学,2011,44(17):3520-3528.

Characteristics of First Day Variation of "Cold Dew Wind" in Guangxi and Its Influence on Safe Heading Period of Double Cropping Late Rice

ZOU Lixia[1] HUANG Yixuan[2] TANG Guangtian[1] HUANG Guojing[3] MO Yanwen[3]
(1 Guilin Meteorological Bureau, Guangxi, Guilin 541001; 2 Guangxi Meteorological Information Center, Nanning 530022; 3 Yangshuo Meteorological Bureau, Guangxi, Guilin 541001)

Abstract: Based on the observation data of 88 meteorological stations in Guangxi from 1961 to 2020, the temporal and spatial variation characteristics of the first day of cold dew wind, the first day of 50% and 80% guarantee rates, and the safe heading period of double cropping late rice in Guangxi are analyzed in combination with the data of rice development period. The results show that: (1) In terms of time, the first day of the cold dew wind in Guangxi shows a slight advance trend at a rate of 0.23 days per 10 years ($P<0.05$), showing an asymmetric W-shaped feature; in space, the first day of cold dew wind in Guangxi is characterized by a "ladder" distribution: early at high latitudes, late at low latitudes, early in mountainous areas and late on flat lands. (2) The first day of cold dew wind in Guangxi has four cycles of 22 years, 12 years, 8 years and 3 years, of which 22 years is the main cycle of the first day of cold dew wind in Guangxi, without obvious mutation. (3) The average full heading stage of double cropping late rice in Guangxi is delayed at a rate of 0.22 days per 10 years ($P<0.05$), and the frequency of encountering cold dew wind during heading and flowering is 21.9%. It is suggested that the sowing date of late rice should be adjusted appropriately to make its full heading date 3 to 7 days earlier. In order to avoid being affected by the sudden cold dew wind disaster, the middle late maturing varieties of late rice should be popularized carefully in the central and northern regions of Guangxi.

Keywords: first day; cold dew wind; guarantee rate; safety full heading