



云南省近 50 年水稻抽扬期低温冷害演变特征分析

摘要

采用云南省 1960—2009 年逐日平均气温数据,按照《云南省水稻抽扬期低温冷害业务标准》提取出这 50 a 中云南省水稻抽扬期发生低温冷害的天气过程,并进行冷害分级,基于 ArcGIS 绘制出各年代冷害发生的频率分布,再分地域研究其强度特征,采用线性趋势法、累积距平曲线等分析近 50 年云南省水稻抽扬期低温冷害的时间变化特征,以期揭示水稻抽扬期冷害的演变规律。结果表明:1960—2009 年,云南省水稻抽扬期低温冷害的主要发生区域集中在昭通市和曲靖市,昭通市发生冷害程度最重,保山市的龙陵县也为多发地区;从时间变化趋势上看,水稻抽扬期不同程度的低温冷害发生日数均趋于减少;从站数比和其累积距平曲线变化上看,20 世纪 70 年代冷害的发生范围最大,频率最高,90 年代则为少发阶段,从 2000 年之后,冷害集中暴发,暴发速度快、强度大,到 2008 年才有所缓和。

关键词

水稻抽扬期;障碍型低温冷害;气候变化

中图分类号 S162.5+3

文献标志码 A

收稿日期 2016-04-18

资助项目 中国气象局西南区域气象中心重大科研业务项目(西南气中[2013]14 号文)

作者简介

何雨苓,女,硕士,工程师,从事大气遥感和农业气象服务与研究.xiaozinzi_hyq@126.com

0 引言

水稻是云南省主要的粮食作物,其产量在全省粮食总产量中占有相当大的比重,低温冷害是威胁水稻生产的主要自然灾害。虽然严重冷害并非年年大范围发生,但一旦发生便会造成重大损失,数年难补^[1]。低温冷害是指农作物在生长期中遭受低于其生长发育所需的环境温度(但仍在 0℃以上)导致农作物减产的自然灾害^[2]。冷害发生在作物生长发育的温暖季节,并不像霜冻及其他灾害那样引起作物枯萎、死亡等明显症状,其对水稻的危害主要有以下 3 个方面:一是低温延缓发育速度,致使水稻在秋霜来临时尚不能完全成熟;二是低温引起水稻的生长量(株高、叶面积、分蘖数等)降低,影响繁茂丰产群体的建立,降低群体生产力;三是低温使水稻的生殖器官直接受害,影响正常结实,造成不孕,空瘪粒增多。此外,低温还会减弱水稻的光合作用强度,引起作物内部生理活动失调等^[3]。云南地处低纬高原,地势北高南低,境内海拔差异大,最高海拔 6 740 m、最低海拔 76 m,平均海拔高度在 1 000 m 以上,94%为山地,特殊的地理环境造就了云南低纬高原季风气候,夏天热量强度低,例如昆明最热月平均气温只有 20.0℃左右,一旦冷空气南下,就容易造成低温冷害。尤其 7 月下旬—8 月下旬,云南大部水稻进入抽穗-扬花期,对气温比较敏感,低温会抑制或延迟水稻开花,使开花速度减慢,花期拉长,降低开花率,甚至引起颖花不能正常开颖,空壳率倍增,对水稻危害极大,称为“夏季低温”,或“8 月低温”。云南省出现大范围夏季低温的年份是:1955、1965、1966、1971、1972、1974、1977、1983、1988、1993、1998、1999、2002 和 2005 年。这些年份由于 8 月低温的影响,均造成云南省各地当年水稻产量不同程度的减产。据统计,滇东北及滇西北地区低温的发生频率大概为三年一遇,全省性的大范围严重低温冷害大致为十至十二年一遇,局部性的低温几乎每年都发生。

目前针对水稻抽扬期低温冷害的发生演变等已开展了一些研究,冯喜媛等^[4]分析了 1961—2010 年东北三省水稻孕穗期障碍型冷害的时空分布规律,认为东北三省水稻孕穗期障碍型冷害主要发生在吉林东北部和黑龙江东南部,并且冷害的发生存在明显的阶段性变化,黑龙江和吉林分别从 2001、2002 年起转入新的冷害多发阶段。刘文英等^[5]的研究结果表明,江西省寒露风约十年九遇,且赣中的发生频率要高于赣北和赣南,并且寒露风有提前出现的趋势。寒露风日

1 云南省气候中心,昆明,650034

数每增加 1 d,可造成空壳率增加 0.4%~3.0%.王庆国等^[6]对南宁市近 40 年寒露风的时空分布特征进行研究,结果表明进入 21 世纪后南宁市寒露风总体呈减少的趋势,并且中度、重度寒露风开始日在提前,而轻度寒露风开始日在推后,寒露风日数与整个南宁市的晚稻产量没有非常明显的关系,而晚稻空秕率与寒露风日数呈明显的正相关.云南省以往针对水稻低温冷害的研究多集中在指标、致灾机理、产量的影响和损失评估方面,气候变化对水稻抽扬期低温冷害的影响方面的研究尚为少见,导致对云南水稻抽扬期低温冷害的发生演变规律认识不足.

本研究采用云南省 1960—2009 年 125 个气象站逐日平均气温数据,按照《云南省水稻抽扬期低温冷害业务标准》(以下均简称为《业务标准》)^[7]提取出这 50 a 中发生抽扬期低温冷害的过程,并进行分级,基于 ArcGIS 的空间插值方法绘制出各年代冷害发生的频率分布,再分地域统计出冷害发生日数及次数,利用累积距平、气候变化线性倾向率等方法分析云南省水稻抽扬期低温冷害的时间演变趋势,以期高原山地稻区水稻优质高产栽培、防灾减灾提供科学依据.

1 资料与方法

1.1 资料与指标

本研究利用云南省 1960—2009 年 125 个气象站逐日平均气温数据作为基础,按照《业务标准》分析全省近 50 年水稻抽扬期冷害的变化规律.

按照标准,某地水稻抽扬期冷害临界指标温度设为

$$T_i = 26.4 - 0.00484H_i, \quad (1)$$

其中 H_i 为某地海拔高度.若 7 月 21 日—9 月 11 日期间内连续 3 d 以上日平均气温 $T < T_i$,即为水稻抽扬期低温冷害,分级标准如表 1 所示.

表 1 云南省水稻抽扬期冷害分级标准

Table 1 Grades of rice chilling damage in period of head sprouting and anthesis in Yunnan province

	轻度冷害	中度冷害	重度冷害
日均温连续 $< T_i$ 天数 /d	[3,4]	[5,6]	≥ 7

需要注意的是,当使用式(1)计算的 $T_i \geq 20.0$ °C 或 $T_i \leq 14.8$ °C 时,不作为临界受害指标,在该地区不考虑抽扬期冷害,不考虑冷害的区域为云南省非水稻主产区.因此,进入分析的站点有 76 个,分布如图 1 所示.

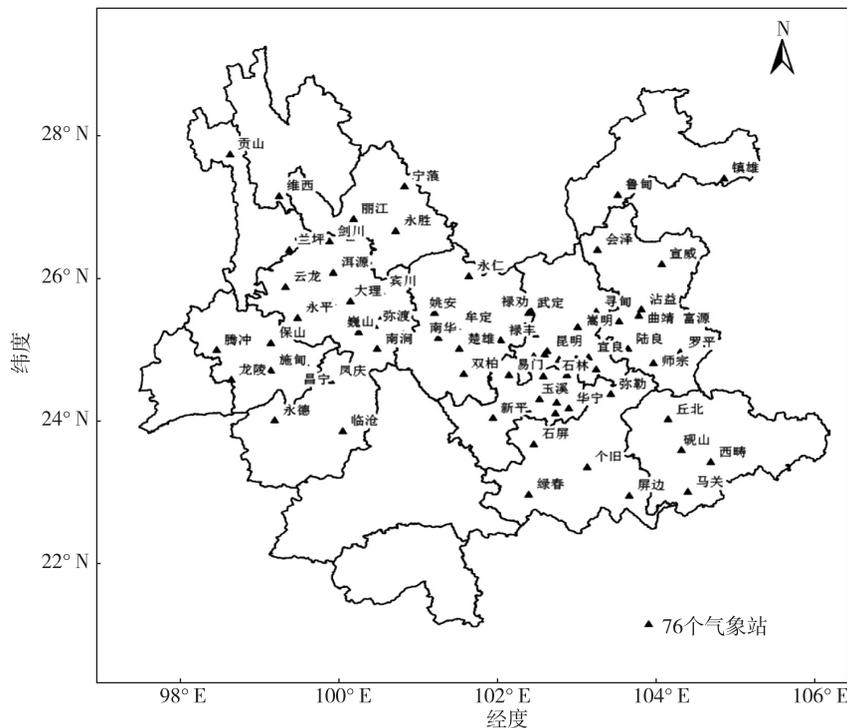


图 1 76 个分析站点分布

Fig. 1 Distribution of 76 representative stations

1.2 分析方法

按照《业务标准》,首先利用76个测站逐日平均气温资料,计算小于该站临界温度的持续日数,并按照分析标准划分等级。

分析低温冷害的空间分布特征时,用各站点低温冷害发生的频率来表示,即用某一时段出现冷害的年数与该时段总年数的比值(简称“年数比”)来表示该站点该时段冷害出现的频率,然后基于ArcGIS空间插值方法绘制出全省各时段发生冷害的频率分布,从地域特征上对冷害进行强度分析。

分析冷害的时间变化规律时,考虑气候变化线性倾向率、某年全省出现冷害的站数与该年全省总站数的比值(简称“站数比”)^[4]以及累积距平曲线3种指标。首先对每年不同程度冷害的发生日数进行统计,绘制其逐年变化曲线,以时间(t)为自变量,发生日数(y)为因变量,建立一元线性回归方程 $y=a+bt$,其中斜率 b 代表发生日数随时间的变化趋势,将 $b \times 10$ 称为气候变化线性倾向率,单位为 $d/(10a)$ ^[8-9]。用站数比来体现该年全省冷害出现的范围大小。

累积距平曲线^[10]可以直观地对变化趋势进行判断,对于序列 x ,某一时刻 t 的累积距平表示为

$$A_t = \sum_{i=1}^t (x_i - \bar{x}), \quad t = 1, 2, \dots, n, \quad (2)$$

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

将 n 个时刻的累积距平值全部算出,即可绘制累积距平曲线,阶段性特征分析可用站数比的累积距平曲线来分析低温冷害的时间变化规律。

2 结果与分析

2.1 各年代低温冷害空间分布特征

图2为1960—2009年各时段各站冷害年数比的分布情况。由图2a可见,1960—2009年的50a期间,云南省水稻抽扬期冷害主要发生在滇中以东地区,昭通市南部和东部、曲靖市北部和南部的局部地区以及保山市西部发生频率较高,昭通市的镇雄县发生频率最高,为90%。图2b反映了20世纪60年代云南省水稻抽扬期冷害发生频率的分布情况,可见发生频率较高的地区集中在滇东边缘一带和保山市的西部地区,镇雄县和富源县是发生频率最高的地区(发生频率为90%)。70年代冷害发生高频地区范围较60年代有明显扩大,滇中地区的冷害发

生频率由60年代的20%~40%上升至40%~60%,滇东北和滇东南的大部地区冷害发生频率在60%~80%之间,镇雄县、富源县和龙陵县发生冷害的频率居高不下,达80%以上,镇雄县达90%(图2c)。80年代全省发生冷害的高频范围较70年代有所减小,主要集中在昭通市、曲靖市和保山市西部,镇雄县在1980—1989年期间每年都有冷害发生,发生频率为100%,昭通市昭阳区、鲁甸县和保山市龙陵县发生频率也在80%以上(图2d)。20世纪90年代为50a中冷害发生最轻的10a,全省各站的观测资料显示并无发生频率在80%以上的地区,冷害发生略重的地区主要还是集中在昭通市和曲靖市北部和南部,红河州的屏边县与昭通市的镇雄县冷害发生频率为70%,为这10a中频率最高的地区(图2e)。2000年以后,冷害在滇东北、滇东南和滇中的部分地区再次暴发,统计显示有11个站发生频率在80%以上,超过前40a,会泽县、鲁甸县、昭阳区达到90%,镇雄县达100%(图2f)。

从各时段的冷害发生频率分布图来看,冷害发生频率较低的地区主要集中在滇西南的临沧市和保山市东部,以及滇西北的大理州;发生频率较高的地区主要集中在滇东北的昭通市和曲靖市,以及滇西南的保山市西部,滇东南的文山州和红河州发生频率也相对较高。这一结论与王宇等^[11]在20世纪80年代对云南省农业气候资源的研究结论相一致,由于云南东半部经常受静止锋活动影响,对于同纬度和同高度的滇东与滇西两区域(大致以昆明、无量山、哀牢山一线为界划分东西)的不同地区,在同一时段内低温发生的气候概率,东部比西部明显偏高。

2.2 各州市低温冷害发生情况统计分析

表2给出了云南省各州市1960—2009年不同程度水稻抽扬期冷害的总日数及出现次数。从表2中可以看出:云南省水稻抽扬期轻度冷害出现的次数最多,中度次之,重度最少,出现天数也是轻度最多,中度次之,重度最少;轻度冷害依次在曲靖市、昆明市、大理州、楚雄州和保山市发生较多,中度冷害在曲靖市、昆明市和楚雄州发生较多,而在昭通市发生重度冷害的日数和次数最多(其中昭通市的镇雄县发生重度冷害频率最高),其次是曲靖市、昆明市和保山市。可见昭通市虽然发生冷害的总日数不是最多,但却为发生冷害程度最重的地区。

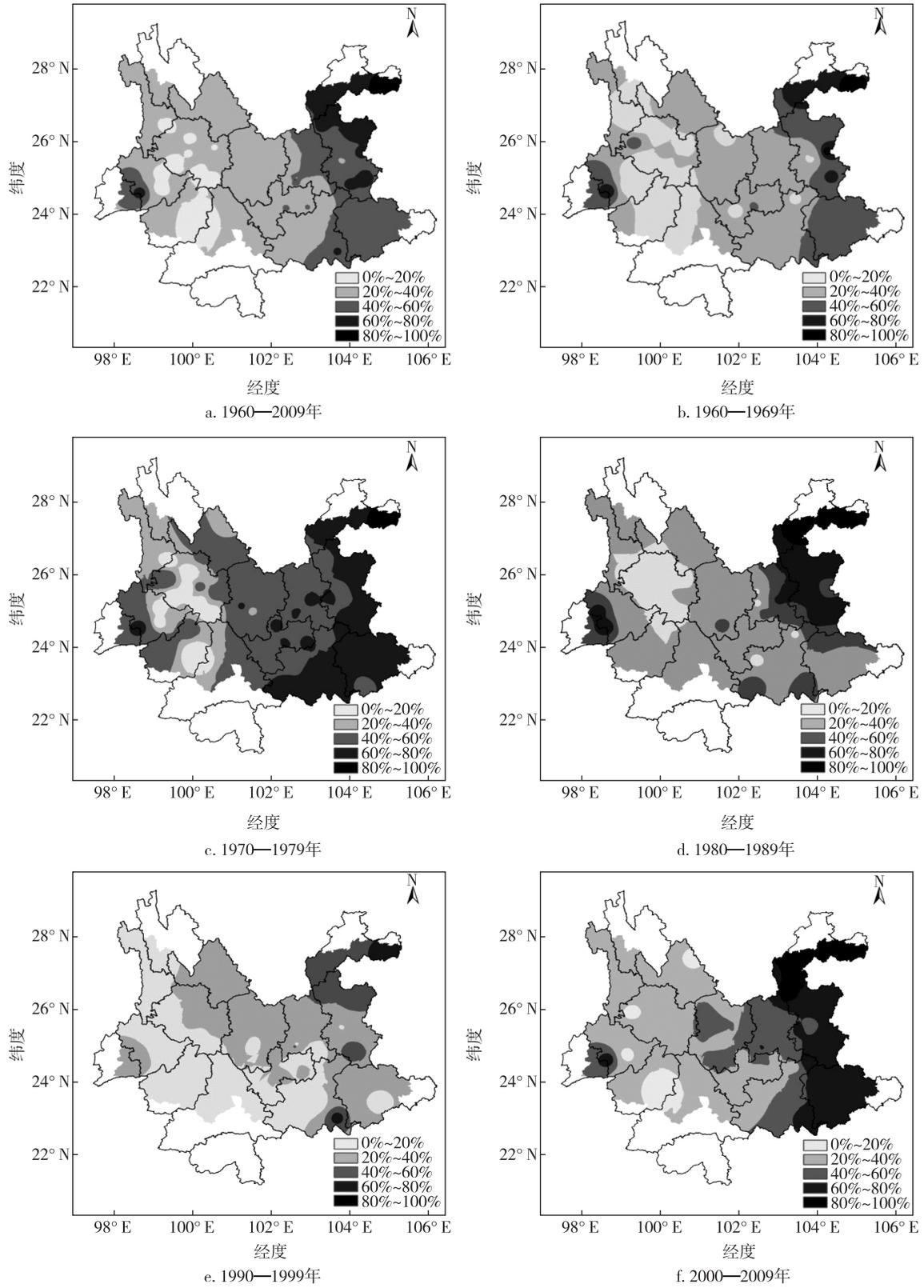


图 2 云南省各时段水稻抽扬期冷害发生频率分布

Fig. 2 Frequency distribution of rice chilling damage in period of head sprouting and anthesis in Yunnan during 1960 to 2009

表 2 1960—2009 年云南省各州市不同程度水稻抽扬期低温冷害的累计总日数和总次数

Table 2 Total days and times of different rice chilling damages in period of head sprouting and anthesis in Yunnan during 1960—2009

州市	轻度		中度		重度	
	总日数/d	总次数	总日数/d	总次数	总日数/d	总次数
保山市	305	92	113	21	142	16
楚雄州	452	130	236	43	43	6
大理州	479	145	117	21	99	12
迪庆州	32	10	0	0	7	1
红河州	407	121	190	35	110	14
昆明市	679	202	331	63	217	30
丽江市	173	51	55	10	29	4
怒江州	64	18	32	6	88	7
临沧市	92	28	15	3	0	0
曲靖市	885	264	383	72	360	45
文山州	311	94	143	27	92	13
玉溪市	448	130	163	30	98	12
昭通市	427	124	333	63	481	52
合计	4 754	1 409	2 111	394	1 766	212

2.3 低温冷害年际变化特征

图 3 给出了云南省 1960—2009 年轻度、中度、重度水稻抽扬期低温冷害日数逐年变化曲线,从图中可以看出 3 种程度的水稻抽扬期低温冷害日数逐年波动都非常明显.用线性方程对 3 种程度的冷害日数进行拟合,轻度冷害发生日数倾向率为 $-0.456 \text{ d}/(10 \text{ a})$,略有减少趋势,但不明显;中度和重度冷害发生日数倾向率分别为 -4.92 和 $-4.69 \text{ d}/(10 \text{ a})$,有明显趋向于减少的态势.

轻度冷害从 20 世纪 70 年代后期开始到 90 年代有下降趋势,但从 2000 年开始又呈现上升状态;中度冷害在 70 年代后期到 80 年代发生的日数相对

较少,从 80 年代末开始有所上升,2004 年开始又明显减少;重度冷害在大多数年份出现的日数较少,高值年日数的强度有一个对称性,即 1974 年和 1992 年特别高且数值相近(1974 年为 249 d、1992 年为 268 d),1962 年和 2001 年次高且数值相近(1962 年为 142 d、2001 年为 141 d).

由图 4 可以看出,1960—2009 年云南省站数比 ≥ 0.5 的年份为 1962、1966、1972、1974、1989、1993、2004 和 2007 年,说明这些年份中有超过半数以上的站点出现了水稻抽扬期冷害.图 3 和图 4 均显示出,50 a 中,仅 1990 年未发生抽扬期冷害.1970—1979 年的 10 a 间,有 7 a(1971、1972、1974、1975、1977、

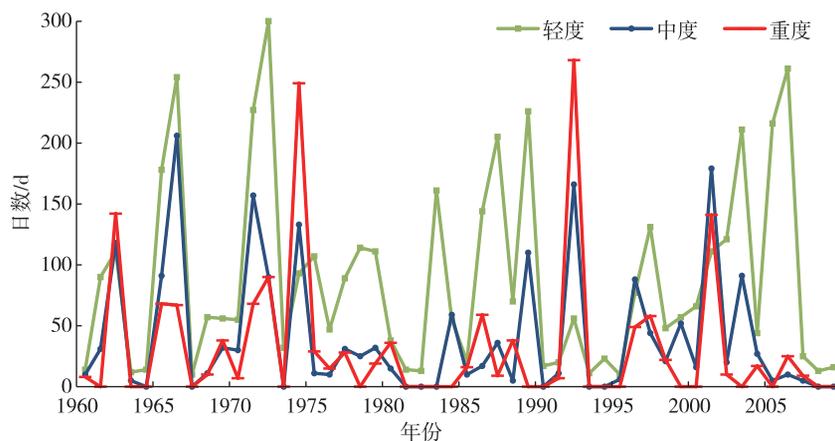


图 3 1960—2009 年云南省不同程度水稻抽扬期低温冷害日数逐年变化曲线

Fig. 3 Annual variation of total days of different rice chilling damages in period of head sprouting and anthesis in Yunnan during 1960 to 2009

1978和1979年)的站数比高于均值,说明20世纪70年代发生冷害的范围最大。

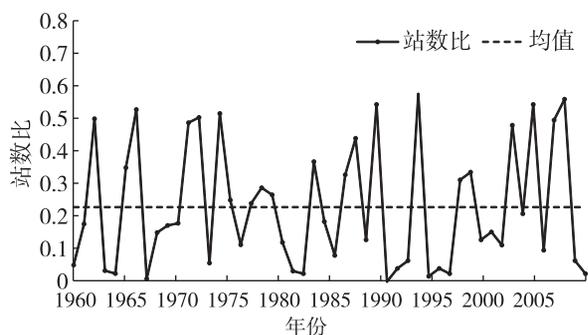


图4 1960—2009年云南省水稻抽扬期低温冷害站数比变化曲线

Fig. 4 Ratio of stations of rice chilling damage vs. total stations in period of head sprouting and anthesis in Yunnan during 1960 to 2009

累积距平曲线呈上升趋势,表示距平值增加,呈下降趋势则表示距平值减小。从曲线明显的上下起伏,可以判断其长期显著的演变趋势及持续性变化^[6]。对云南省站数比值的累积距平分析表明(图5),水稻抽扬期冷害的发生范围存在一定的阶段性变化趋势。1970年之前经历了2次多发-少发的变化,1970—1979年逐渐多发,1980—1985年逐渐少发,后4a又进入逐渐多发阶段,1990—2001年,冷害总体上逐渐少发,2002年之后开始多发,并且暴发速度快、强度大,直到2008和2009年冷害发生范围才又逐渐减少。从图5的整个变化趋势上看,云南省水稻抽扬期低温冷害爆发程度从20世纪60年代小幅波动,70年代迅猛上升,80年代略有下降,90年代下降迅速,成为50a中冷害发生程度最轻的10a,2000年之后冷害又迅速暴发,强度几乎与发生程度最重的70年代相当。

3 结论与讨论

1)近50年(1960—2009年)以来,云南省水稻抽扬期低温冷害的主要发生区域集中在昭通市和曲靖市,保山市的龙陵县也为多发地区,其中昭通市的镇雄县发生频率最高,程度最重。虽然云南省昭通市发生冷害的总日数不是最多,但它发生重度冷害的日数和次数最多,昭通市为发生冷害程度最重的地区。

2)云南省水稻抽扬期低温冷害发生程度不同年代差别较大。发生范围在20世纪70年代明显扩大,

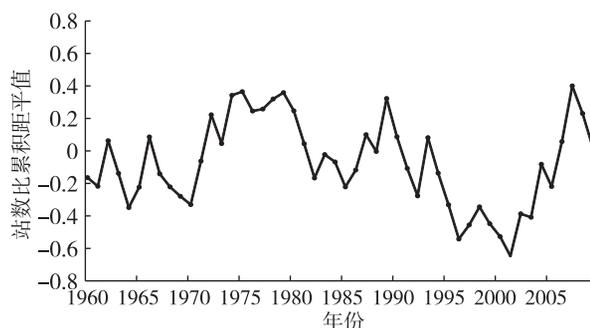


图5 1960—2009年云南省水稻抽扬期低温冷害站数比累积距平曲线

Fig. 5 Accumulative anomaly curves of ratios of stations of rice chilling damage vs. total stations in period of head sprouting and anthesis in Yunnan during 1960 to 2009

而且发生年数最多;90年代出现冷害的年数和发生区域明显减少;2000年以后又进一步在滇中以东地区暴发,表现为该区域的冷害年频率明显变高,高频发生范围扩大。

3)云南省水稻抽扬期中度和重度低温冷害的发生日数明显趋于减少,轻度冷害发生日数也趋于减少,但趋势并不十分明显。

4)近50年水稻抽扬期低温冷害虽有减少的趋势,但水稻抽扬期低温冷害风险仍然存在,种植结构调整、水稻规划布局必须考虑这一可能的灾害风险。

参考文献

References

- [1] 杨维扬. 云南水稻冷害研究展望[J]. 云南农业科技, 1983(5):1-5
YANG Weiyang. Prospect of research on rice chilling damage in Yunnan[J]. Yunnan Agricultural Science and Technology, 1983(5):1-5
- [2] 朱海霞, 纪仰慧, 闰平, 等. 黑龙江省玉米低温冷害发生风险趋势及预报模型[J]. 气象科技, 2010, 38(3): 368-372
ZHU Haixia, JI Yanghui, RUEN Ping, et al. Trends analysis and forecast model of corn chilling damage[J]. Meteorological Science and Technology, 2010, 38(3): 368-372
- [3] 王雨. 黑龙江省水稻低温冷害发生规律研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2007:1-12
WANG Yu. Study on the occurring law of cool summer damage on rice in Heilongjiang province[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2007:1-12
- [4] 冯喜媛, 郭春明, 陈长胜, 等. 基于气象模型分析东北三省近50年水稻孕穗期障碍型低温冷害时空变化特征[J]. 中国农业气象, 2013, 34(4):462-467
FENG Xiyuan, GUO Chunming, CHEN Changsheng, et al. Spatial-temporal variation of sterile-type chilling dama-

- ges at rice booting stage in Northeast China in last 50 years based on meteorological model[J].Chinese Journal of Agrometeorology,2013,34(4):462-467
- [5] 刘文英,张显真,简海燕.江西近 50 年寒露风演变趋势及其对双季晚稻的影响[J].气象与减灾研究,2009,32(4):67-71
LIU Wenyong,ZHANG Xianzhen,JIAN Haiyan.Evolution trend of cold-dew wind in recent 50 years in Jiangxi province and its influence on late double-harvest rice[J].Meteorology and Disaster Reduction Research,2009,32(4):67-71
- [6] 王庆国,黄增俊,黄归兰,等.南宁市近 40 年寒露风演变趋势及对晚稻的影响[J].南方农业学报,2013,44(3):431-436
WANG Qingguo,HUANG Zengjun,HUANG Guilun,et al.Evolution trends of cold dew wind over the recent 40 years and its impact on late rice in Nanning city[J].Journal of Southern Agriculture,2013,44(3):431-436
- [7] 云南省气象局业务发展处.云南省天气预报质量评定办法的补充规定[R].2002:9-10
Business Development Department of Yunnan Provincial Meteorological Bureau. Supplementary requirements for weather forecast quality evaluation method in Yunnan province[R].2002:9-10
- [8] 张小平,周建琨,张晓,等.1960—2010 年山西朔州市气候变化及其突变分析[J].南京信息工程大学学报(自然科学版),2015,7(2):168-173
ZHANG Xiaoping,ZHOU Jiankun,ZHANG Xiao,et al. Climate change and its mutation analysis in Shuozhou of Shanxi province during 1960 - 2010 [J]. Journal of Nanjing University of Information Science and Technology (Natural Science Edition),2015,7(2):168-173
- [9] 唐国利,丁一汇.近 44 年南京温度变化的特征及其可能原因的分析[J].大气科学,2006,30(1):56-68
TANG Guoli,DING Yihui.The changes in temperature and its possible causes in Nanjing in recent 44 years[J].Chinese Journal of Atmospheric Sciences,2006,30(1):56-68
- [10] 魏凤英.现代气候统计诊断与预测技术[M].北京:气象出版社,1999:52-53
WEI Fengying.Modern climate diagnostics and prediction techniques [M]. Beijing: China Meteorological Press,1999:52-53
- [11] 王宇.云南省农业气候资源及区划[M].北京:气象出版社,1990:131-137
WANG Yu.Agricultural climatic resources and zoning in Yunnan province [M]. Beijing: China Meteorological Press,1990:131-137

Evolutionary characteristics of rice chilling damage in period of head sprouting and anthesis in Yunnan province in recent 50 years

HE Yuqin¹ HU Xueqiong¹ ZHU Yong¹

¹ Yunnan Climate Center, Kunming 650034

Abstract Based on the daily temperature data of Yunnan province during 1960 to 2009, the rice chilling process was extracted and graded for recent 50 years according to the operating guideline of rice chilling damage in period of head sprouting and anthesis in Yunnan province. The frequency distribution of rice chilling damage in each decade was drawn by ArcGIS, then the chilling damage strength characteristics was studied geographically. The methods of linear trend and cumulative anomaly curve were used to reveal the evolution features of rice chilling damage in period of head sprouting and anthesis in Yunnan province in recent 50 years. Results showed that the rice chilling damage mainly occurred in Zhaotong, Qujing and Baoshan's Longling county, with Zhaotong as the most injured city. Generally, the total days of rice chilling damage showed a decreasing trend for the past 50 years. However, analysis of the ratio of stations with rice chilling vs. total stations and cumulative anomaly curve indicated that the 1970s had rice chilling damage with the largest range and the highest frequency, while the 1990s had the least rice chilling damage, then chillings occurred intensively in years after 2000, and eventually decreased in 2008.

Key words head sprouting and anthesis of rice; sterile-type chilling damage; climate change