

doi: 10.7621/cjarrp.1005-9121.20230210

• 农业区划 •

基于CLDAS内蒙古日光温室低温风险指数 及灾害风险区划研究*

越 昆, 金林雪, 吴瑞芬*, 姜少杰

(内蒙古生态与农业气象中心, 呼和浩特 010051)

摘 要 [目的] 低温冷害是影响北方日光温室生产的主要气象灾害, 为提高投资回报率和节能减排, 需精细化建立内蒙古日光温室低温风险指数和揭示日光温室低温灾害空间分布特征。[方法] 文章通过不同类型日光温室内观测的气温数据与国家站气温数据建立日光温室最低气温预报模型。根据日光温室内种植果菜和叶菜的生长条件需求划定气象指标, 使用CLDAS气温数据, 建立内蒙古砖墙体和厚墙体两种类型日光温室分别种植果菜和叶菜的低温灾害风险指数模型并制作灾害风险区划。[结果] 砖墙体和厚墙体种植果菜和叶菜的低风险区主要分布在内蒙古西部偏西地区, 约占全区面积8.2%~21.2%; 较低风险区主要分布在西部偏东和中部偏西地区, 约占全区面积20.0%~29.0%; 中、高风险区主要分布在内蒙古中部偏东及以东地区, 约占全区面积的55.3%以上。[结论] 在保证生产和兼顾成本的前提下, 西部大部农区适宜建造砖墙体日光温室, 中部及东部偏南以建造厚墙体日光温室为主, 东部区建造日光温室需加强保温措施、选择耐寒作物或者冬季间断生产。

关键词 日光温室 CLDAS 风险区划 低温灾害 内蒙古

中图分类号:S166 **文献标识码:**A **文章编号:**1005-9121[2023]02-0099-11

0 引言

随着社会经济的不断发展, 人民对农产品周年化均衡供应和多品种类别的需求不断增加, 在供需不均衡的矛盾下, 设施农业迅速发展^[1]。设施农业本质上是通过人工技术改变光温条件, 从而在不适宜的地区或不适宜的季节种植各类作物。设施农业根据地区差异及使用需求的不同拥有不同的类型, 常用的类型基本分为4类: 日光温室、塑料大棚、连栋温室和小拱棚。内蒙古地区地处我国北部, 东西跨度大, 海拔平均1 000m左右, 冷季较长, 所以冷棚型设施农业大多只在春秋时短时间使用, 可长时间经营生产且建设规模大的设施类型多以日光温室为主。内蒙古常见日光温室可根据北墙体的构造简单分为两种: 砖墙体和厚墙体, 二者造价不同, 保温性能也有所不同, 厚墙体的保温蓄热性能好于砖墙体^[2]。砖墙体的北墙一般厚度为36~48cm, 墙体厚度大于上限值并不会使温室保温性能有更好的提高^[3,4]。厚墙体一般指单质土墙体, 北墙厚度要达到1.04~2.16m才能起到较为理想的保温效果^[5]。在日光温室日常生产经营中发现, 受低温、寡照和风雪等灾害性天气影响, 一些地区建设日光温室存在能源消耗大和经济回报效益低等问题^[6], 因此研究日光温室灾害风险性区划有利于提高经济效益和节约能耗。

目前大田农业气象灾害风险评估与区划的研究较多, 日光温室农业区划的研究相对较少^[7], 且在以往

收稿日期: 2021-09-14

作者简介: 越昆(1989—), 女, 内蒙古鄂尔多斯人, 硕士、工程师。研究方向: 应用气象与气候变化

※通讯作者: 吴瑞芬(1966—), 女, 内蒙古丰镇人, 硕士、正研级高工。研究方向: 农业气象灾害监测评估。Email: wu_ruifen@126.com

*资助项目: 国家重点研发计划项目“多源气象资料融合技术研究与产品研制”(2018YFC1506606); 内蒙古自治区科技创新引导项目“设施农业精细化农业气候区划与灾害风险区划”(KCBJ2018065); 内蒙古自治区科技重大专项“旱作区水资源合理利用种植技术与集成模式研究”(2020ZD0005); 东北区域气象中心科技创新项目“粮食主产区重大复合农业气象灾害监测预警评估技术与应用研究”

的区划研究中,多通过空间插值或者小网格推算方法将站点数据拓展到空间尺度上^[8,9],但由于这些方法基于经验公式,其精度较差,不能满足实际生产需求。因此,对于日光温室低温冷害风险指数和精细化灾害风险区划的研究鲜有报道。为提高区划的准确性与精细程度,需要使用时空连续的高精度数据,故该文选用陆面同化数据。陆面同化数据是同化融合了卫星观测、地面观测和数值模式等产品,通过陆面模型而产生的较高分辨率的格点数据^[10],从20世纪末发展至今,已有全球陆面数据同化系统(Global Land Data Assimilation System, GLDAS)、北美陆面数据同化系统(North American Land Data Assimilation System, NLDAS)、欧洲陆面数据同化系统(European Land Data Assimilation System, ELDAS)、中国气象局陆面数据同化系统(China Meteorological Administration Land Data Assimilation System, CLDAS)等主流或业务化运行的数据同化系统^[11-13]。CLDAS虽然起步较晚,但在中国区域范围内模型结果优于GLDAS,并且有着更高的时间分辨率和空间分辨率^[14]。CLDAS数据在以往研究中多以模型构建和数据评估为主,在生态和农业方面的应用较少^[15-19]。

为提供精细化日光温室低温冷害灾害风险区划,文章使用CLDAS的气温数据,结合内蒙古砖墙体和厚墙体日光温室小气候观测数据建立的低温冷害预报模型,完成内蒙古两种类型日光温室低温冷害灾害风险区划,为内蒙古地区日光温室建设规划提供有效依据,以期提高投入回报率及节能减排。

1 研究区与数据

1.1 研究区概况

内蒙古地处中国北部边疆,深处内陆地区,大部分地区处于中高纬度(37°24'N~53°23'N),西起97°12'E,冬至126°04'E,东西跨度大(2 400km),总面积占全国国土面积的12.3%,居全国第3位。全区平均海拔1 000m左右,地貌类型多样,自然环境复杂,因此内蒙古气候区域差异显著,气候资源分配不均^[20]。

1.2 数据来源

日光温室小气候数据选取呼和浩特市赛罕区根堡村现代农业园区日光温室代表厚墙体类型日光温室研究站点,北墙体厚度为2m。选取阿拉善盟阿拉善左旗巴润别立镇日光温室数据代表砖墙体日光温室研究站点,北墙体厚度为0.5m。二者的覆盖材料均为保温棉被,冬季均通过燃煤增温。相应的温室外部数据采用气候条件相近且距离日光温室最近的国家气象台站数据,因此选取呼和浩特郊区站和阿拉善左旗站,台站信息及所用数据时间范围见表1。

格点数据使用国家气象信息中心气象数据研究室研发的CLDASV2.0产品,该产品为0.062 5°×0.062 5°空间分辨率与1h时间分辨率的等经纬度网格融合分析产品,该文研究使用该产品的2m气温数据,该数据通过全国2 400个国家级自动站观测数据评估均方根系数为0.88K,偏差为-0.13K,相关系数为0.97^[14]。与同类产品相比,该产品在中国区域质量相对更高,其时间分辨率和空间分辨率更适宜该研究,该文选用2008—2018年CLDASV2.0气温产品。

表1 气象站点信息

日光温室站点	气象台站站点	经度(°)	纬度(°)	气象站类型	建模序列(年)	验证序列(年)
呼和浩特市根堡村	呼和浩特郊区	111.70	40.75	国家站	2011—2014	2015
阿拉善盟阿拉善左旗巴润别立镇	阿拉善左旗	105.67	38.83	国家站	2011—2015	2016

1.3 模型建立

根据气候统计,内蒙古地区极端日最低气温一般出现在12月上旬至次年2月上旬,其中出现在1月下旬的概率达50%左右,因此该研究选取1月21—31日日光温室小气候数据和对应国家气象站的最低气温数据。根据长波逆辐射原理,阴天日光温室内夜间温度要高于晴天^[21],所以选取典型晴天日数据。以温室

内日最低气温为因变量，以同一日温室外最低气温为自变量，利用线性回归分析法，建立两种类型温室内最低气温的预报方程，相关参数见表 2。

$y=ax+b$

(1)

1.4 指标选取

参考山东省气候中心牵头编写的《设施农业气象灾害影响预报技术指南》及内蒙古地区设施农业低温灾害的调研情况，经过反复的调整、验证，得到基于温室内日最低气温（T）的内蒙古日光温室低温灾害的划分标准（表 3）。

1.5 区划方法

根据确定的温室内低温灾害等级，通过最低气温预报方程外推对应的温室外日最低气温，以此作为区划评估指标。分别统计无灾、轻度低温灾害、中度低温灾害、重度低温灾害发生日数，并分别赋予不同权重得到综合风险区划指数 P ，风险区划指标越大，低温灾害发生的风险也越大。在该研究中区划指标主要考虑低温灾害出现的概率，具体计算方法为：

$$W = \frac{n}{N} \times 100\%$$

(2)

式（2）中， W 为低温灾害指标发生概率， n 为指标范围内低温灾害发生次数， N 为统计总量，低温灾害发生概率越大，则低温灾害发生的可能性越大。

基于不同类型日光温室室外低温灾害指标，计算低温灾害概率 W ，该概率代表在不考虑抗灾条件下，低温灾害发生的可能性。

分别计算出厚墙体种植果菜、厚墙体种植叶菜、砖墙体种植果菜和砖墙体种植叶菜在无灾、轻灾、中灾和重灾各等级低温灾害发生概率，对数据进行标准化后，计算综合风险区划指数 P 为：

$$P = 0.096x_1 + 0.162x_2 + 0.278x_3 + 0.463x_4$$

(3)

该区划指数权重使用层次分析法计算^[22]，无灾的权重为 0.096、轻灾的权重为 0.162、中灾的权重为 0.278、重灾的权重为 0.463。

使用 CLDAS 数据，通过已构建的综合风险区划指数模型，计算内蒙古自治区范围内的日光温室低温灾害综合风险区划指数，利用自然段点法将厚墙体种植果菜、厚墙体种植叶菜、砖墙体种植果菜和砖墙体种植叶菜的低温灾害按照 4 个等级进行分区（表 4），从而得到内蒙古日光温室低温灾害风险区划分布图。

表 2 日光温室日最低气温预报模型相关参数

日光温室类型	a	b	r	sigF
厚墙体	0.62	14.16	0.87	0.01
砖墙体	0.32	6.22	0.48	0.05

表 3 内蒙古常见果蔬低温灾害等级划分

等级	果菜(℃)	叶菜(℃)
无灾	$T>7$	$T>5$
轻度低温灾害	$5<T\leq7$	$3<T\leq5$
中度低温灾害	$0<T\leq5$	$0<T\leq3$
重度低温灾害	$T\leq0$	$T\leq0$

表 4 内蒙古设施农业低温灾害风险区划分级

分级	厚墙体种植果菜划分指标	厚墙体种植叶菜划分指标	砖墙体种植果菜划分指标	砖墙体种植叶菜划分指标
低风险	$P<0.50$	$P<0.50$	$P<0.70$	$P<0.70$
较低风险	$0.50<P\leq0.85$	$0.50<P\leq0.85$	$0.7<P\leq0.85$	$0.7<P\leq0.85$
中风险	$0.85<P\leq0.95$	$0.85<P\leq0.95$	$0.85<P\leq0.95$	$0.85<P\leq0.95$
高风险	$P>0.95$	$P>0.95$	$P>0.95$	$P>0.95$

2 结果与分析

2.1 冷冻害指标的确定

通过上文建立的不同类型日光温室的最低气温预报模型，结合果菜和叶菜低温灾害等级的划分，得到厚墙体种植果菜、厚墙体种植叶菜、砖墙体种植果菜和砖墙体种植叶菜发生无灾害、轻度低温灾害、中度低温灾害和重度低温灾害的温度范围（表 5）。

表5 内蒙古两种类型日光温室低温灾害等级划分

等级	厚墙体种植果菜室外最低 气温(℃)	厚墙体种植叶菜室外最低 气温(℃)	砖墙体种植果菜室外最低 气温(℃)	砖墙体种植叶菜室外最低 气温(℃)
无灾	$T>-11.5$	$T>-14.7$	$T>2.4$	$T>-3.8$
轻度低温灾害	$-14.7<T\leq-11.5$	$-18.0<T\leq-14.7$	$-3.8<T\leq-2.4$	$-10.1<T\leq-3.8$
中度低温灾害	$-22.8<T\leq-14.7$	$-22.8<T\leq-18.0$	$-19.4<T\leq-3.8$	$-19.4<T\leq-10.1$
重度低温灾害	$T\leq-22.8$	$T\leq-22.8$	$T\leq-19.4$	$T\leq-19.4$

2.2 灾害风险区划分析

2.2.1 低温灾害发生概率空间分布特征

(1) 图1为内蒙古厚墙体日光温室种植果菜低温灾害发生概率分布图。从空间分布来看，西部区中灾概率最高，阿拉善盟大部、乌海市、巴彦淖尔市西北部、鄂尔多斯市南部地区概率在40%~59%。中东部

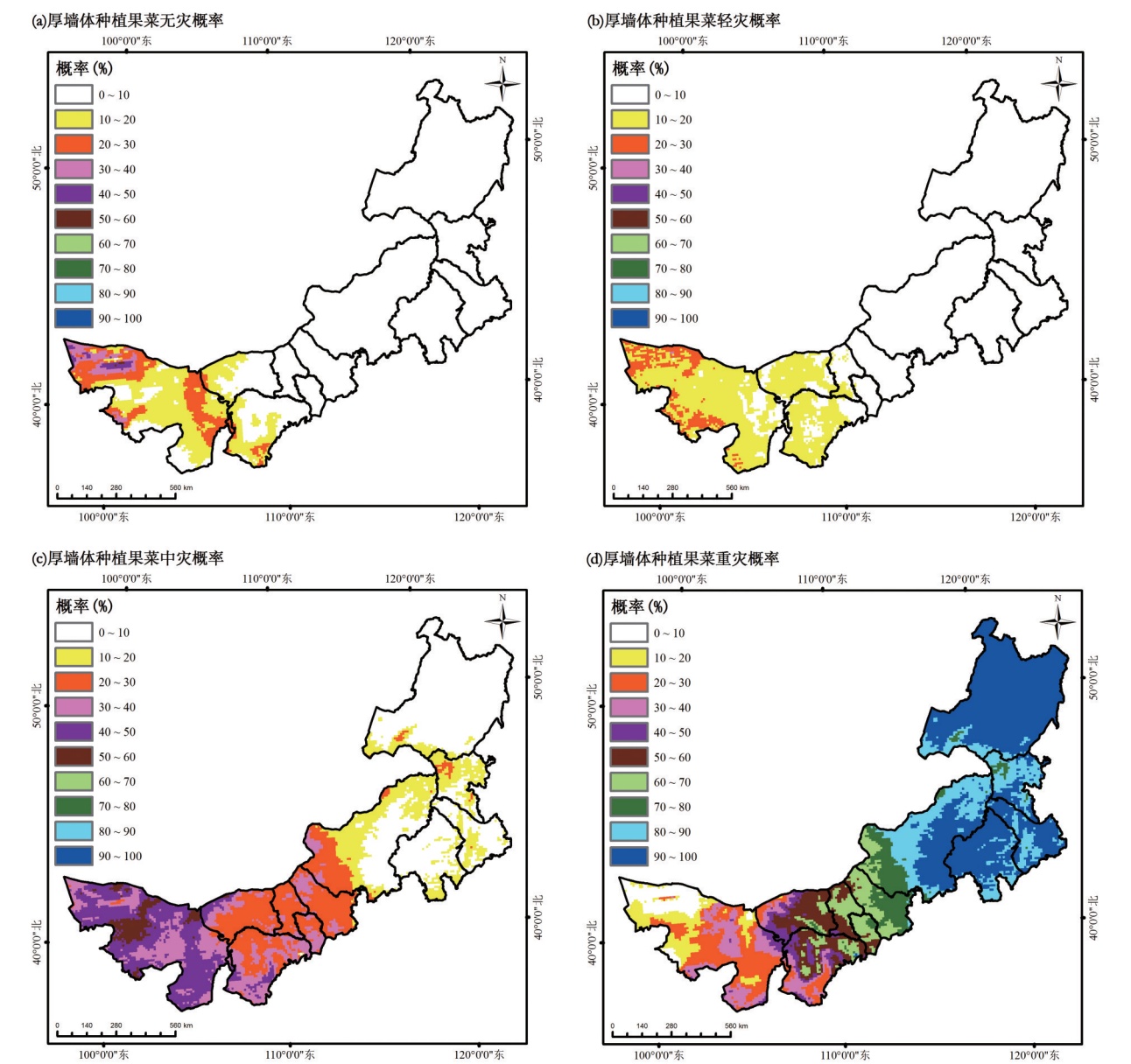
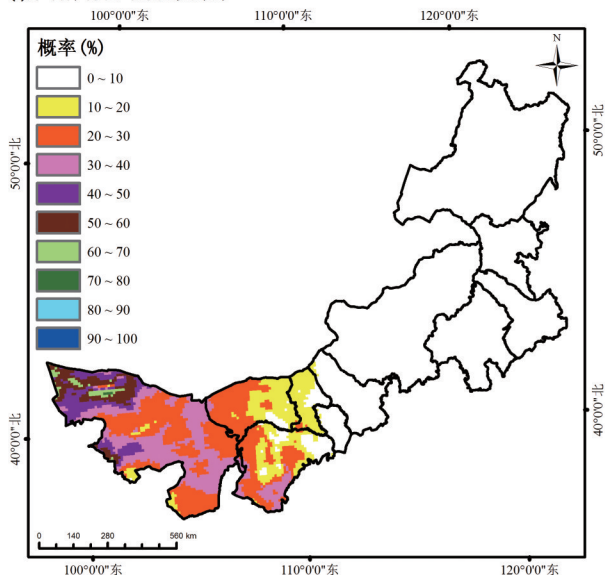


图1 内蒙古厚墙体日光温室种植果菜低温灾害发生概率分布

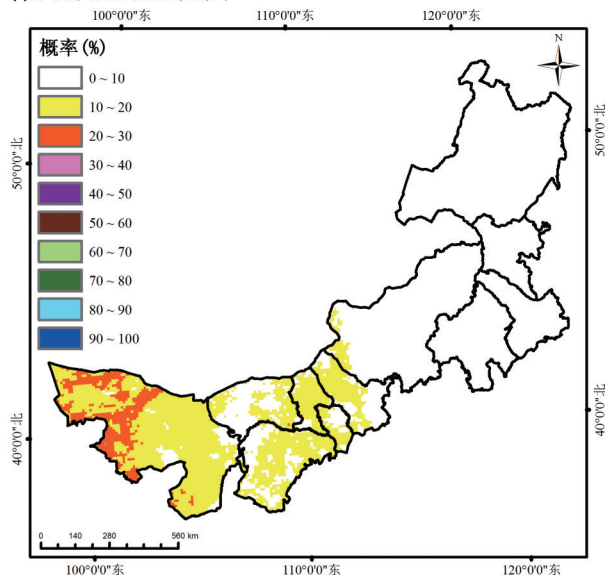
区重灾概率最高,由西向东呈增加趋势,包头市、呼和浩特市和乌兰察布市西北部发生概率在40%~70%,乌兰察布市东南部及以东大部分地区发生概率在70%~100%。无低温灾害发生概率在0%~52%,从空间上看无灾发生频率较高的区域主要集中在内蒙古偏西部,阿拉善盟西北部地区无灾概率最高,阿拉善盟大部、乌海市、巴彦淖尔市西北部和鄂尔多斯市西南部大部分地区发生概率在10%~30%。轻度灾害发生概率在0%~31%,从空间上看轻度灾害发生频率较高的区域主要集中在内蒙古西部,阿拉善盟西北部局部地区概率在20%~30%,阿拉善盟大部、乌海市、巴彦淖尔市大部、鄂尔多斯市大部和包头市南部地区发生概率在10%~20%。

(2) 图2为内蒙古厚墙体日光温室种植叶菜低温灾害发生概率分布图,由于叶菜相较于果菜更为耐冻,所以无灾害发生概率的区域比种植果菜要广,主要集中在内蒙古西部,阿拉善盟西北部地区无灾概率最高,阿拉善盟、乌海市、巴彦淖尔市大部、鄂尔多斯市大部和包头市大部发生概率在10%~74%,其余地区均小于10%。重度灾害发生概率在0%~100%,从空间上看灾害发生频率空间分布的趋势由西向东

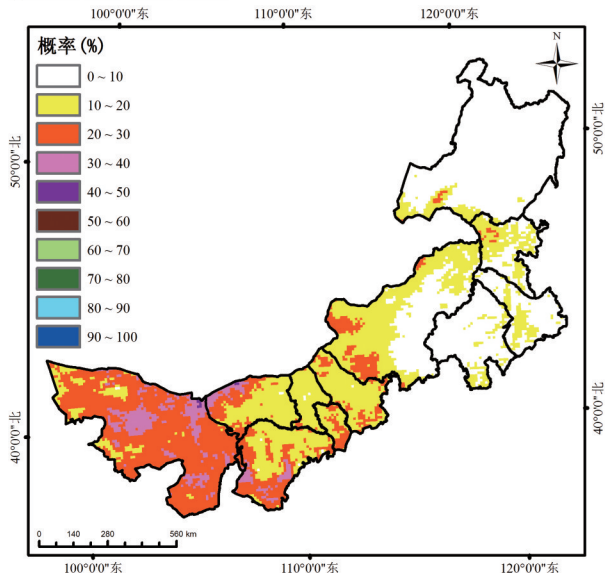
(a) 厚墙体种植叶菜无灾概率



(b) 厚墙体种植叶菜轻灾概率



(c) 厚墙体种植叶菜中灾概率



(d) 厚墙体种植叶菜重灾概率

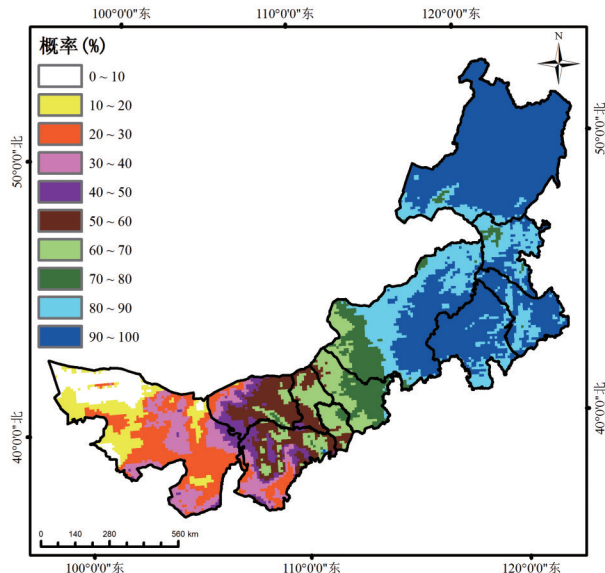
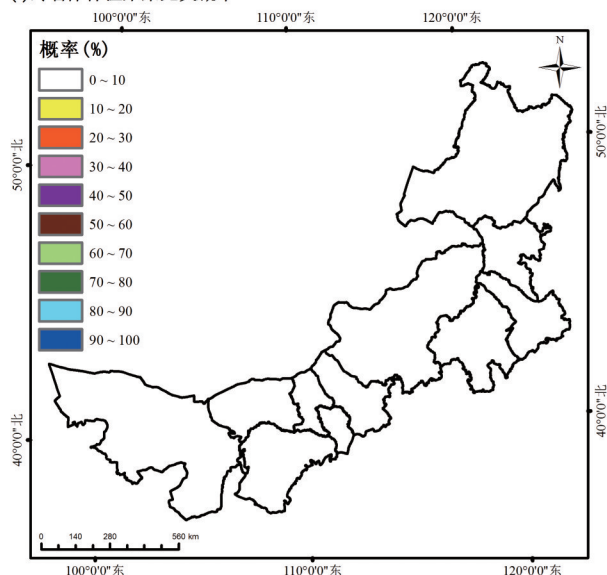


图2 内蒙古厚墙体日光温室种植叶菜低温灾害发生概率分布

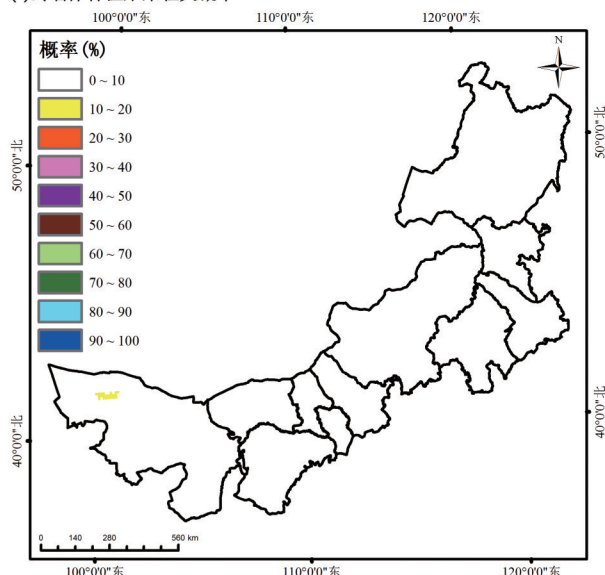
递增,分布形势与种植果菜较为一致。轻度灾害发生概率在0%~31%,从空间上看轻度灾害发生频率较高的区域主要集中在内蒙古西部和中部偏西地区,与种植果菜相比,除阿拉善盟大部、乌海市、巴彦淖尔市西北部 and 东南部、鄂尔多斯市大部外,增加了包头市、呼和浩特市西南部和乌兰察布市西北部地区。中度灾害发生区域与种植果菜发生中度低温灾害区域较为相近,发生概率在0%~43%。

(3) 图3为内蒙古砖墙体日光温室种植果菜低温灾害发生概率分布图,由图3可见全区大部分地区无灾害和轻度灾害的发生概率<10%。中度灾害发生概率在0%~94%,从空间上看中度灾害发生频率较高的区域主要集中在乌兰察布及以西地区,阿拉善盟大部、乌海市、巴彦淖尔市西北部、鄂尔多斯市南部地区概率在40%~94%,乌兰察布以东大部分地区在0%~10%,其余大部分地区发生概率在10%~40%。重度灾害发生概率在4%~100%,从空间上看重度灾害发生频率的趋势有西向东递增,阿拉善盟大部、乌海市、巴彦淖尔市西北部、鄂尔多斯市西南部地区概率在4%~60%,乌兰察布以东大部分地区发生概率>90%,其余地区发生概率在60%~90%。

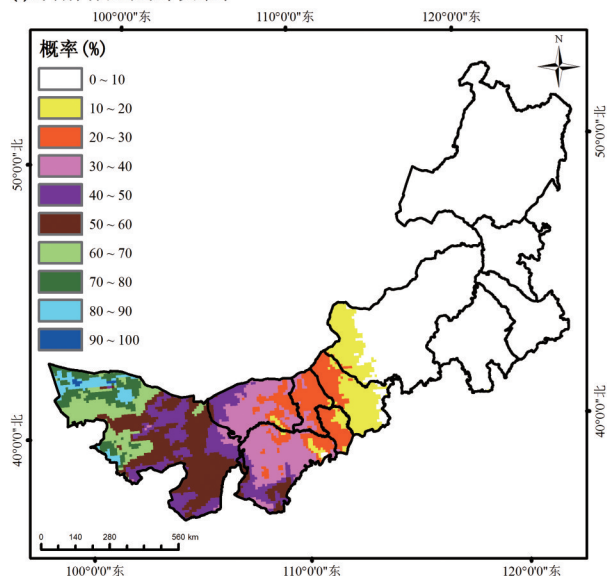
(a) 砖墙体种植果菜无灾概率



(b) 砖墙体种植果菜轻灾概率



(c) 砖墙体种植果菜中灾概率



(d) 砖墙体种植果菜重灾概率

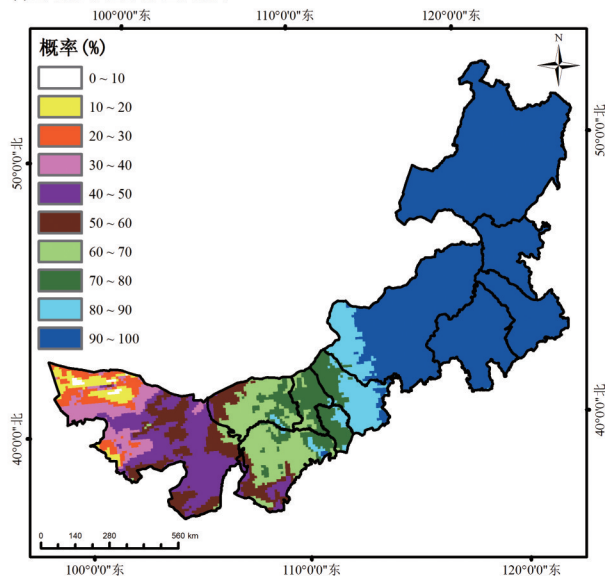


图3 内蒙古砖墙体日光温室种植果菜低温灾害发生概率分布

(4) 图4为内蒙古砖墙体日光温室种植叶菜低温灾害发生概率分布图。无灾害和重灾害发生概率与种植果菜相近。轻度灾害发生概率在0%~34%,从空间上看中度灾害发生频率较高的区域主要集中在偏西部部分地区,阿拉善盟西北部及偏东部部分地区、乌海市、巴彦淖尔市偏西北部、鄂尔多斯市南部部分地区概率在10%~34%,其余地区发生概率均<10%。中度灾害发生概率在0%~71%,从空间上看中度灾害发生频率较高的区域主要集中在西部地区,阿拉善盟大部、乌海市、巴彦淖尔市西部、鄂尔多斯市大部地区概率在30%~71%,乌兰察布以东大部分地区在0%~10%,其余大部分地区发生概率在10%~30%。

2.2.2 低温灾害风险区划

(1) 利用自然断点法对内蒙古厚墙体日光温室种植果菜和叶菜低温灾害风险进行划分,区域内风险指数<0.50为低风险区,0.50~0.85为较低风险区,0.85~0.95为中风险区,>0.95为重风险区。种植果菜

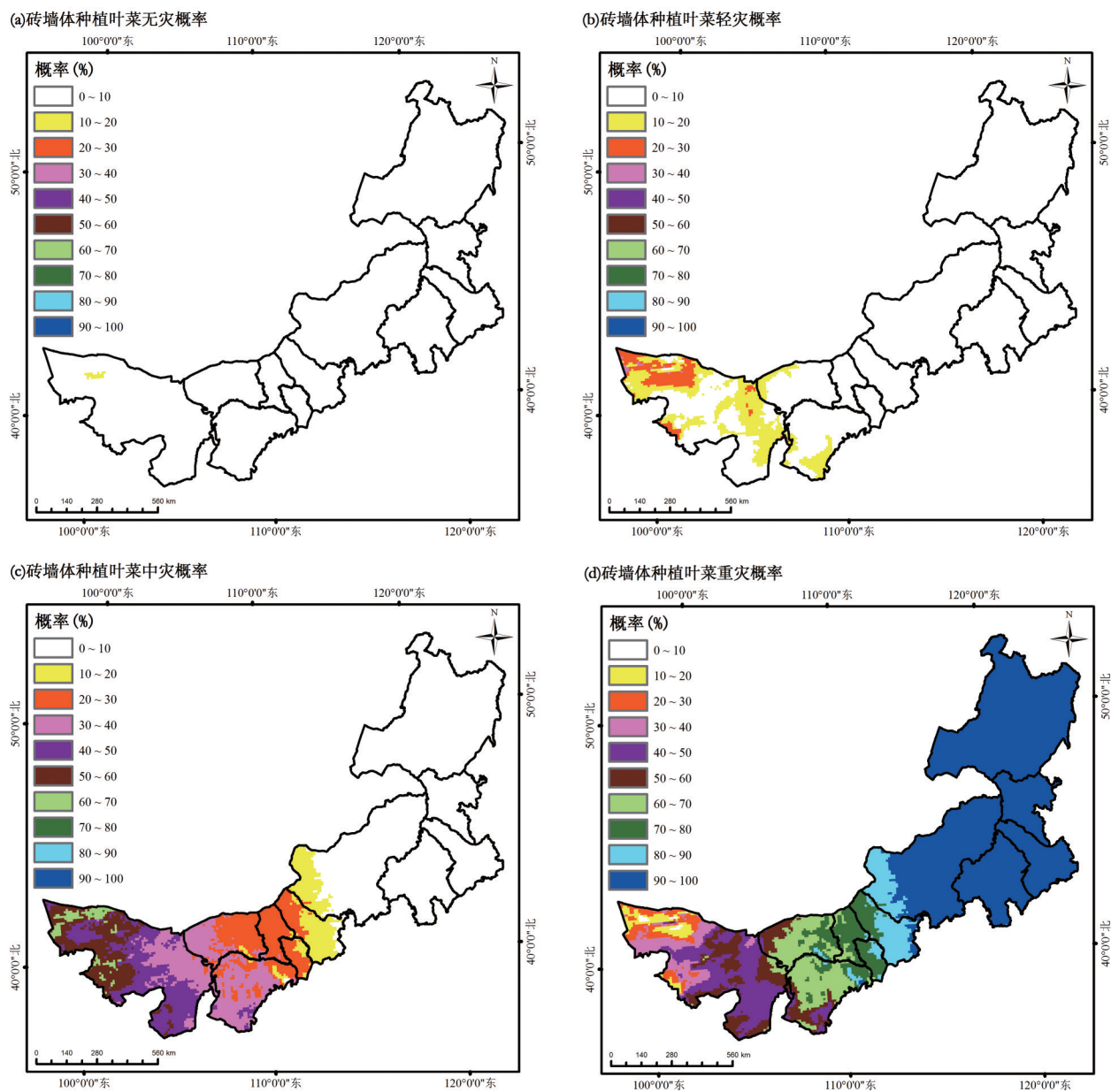
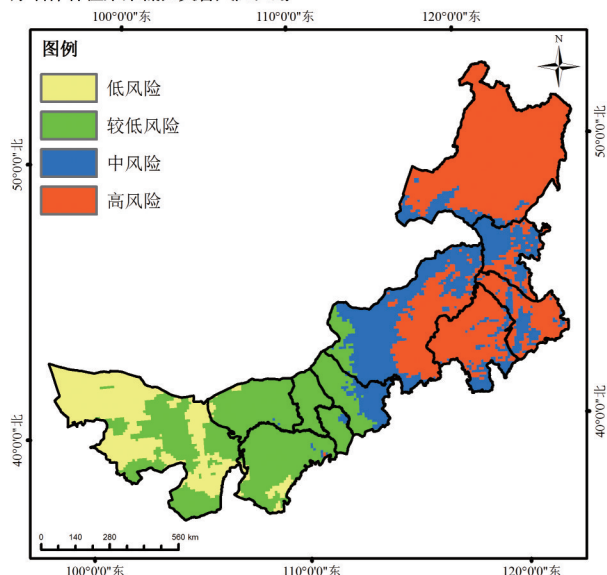


图4 内蒙古砖墙体日光温室种植叶菜低温灾害发生概率分布

厚墙体种植果菜低温灾害风险区划



厚墙体种植叶菜低温灾害风险区划

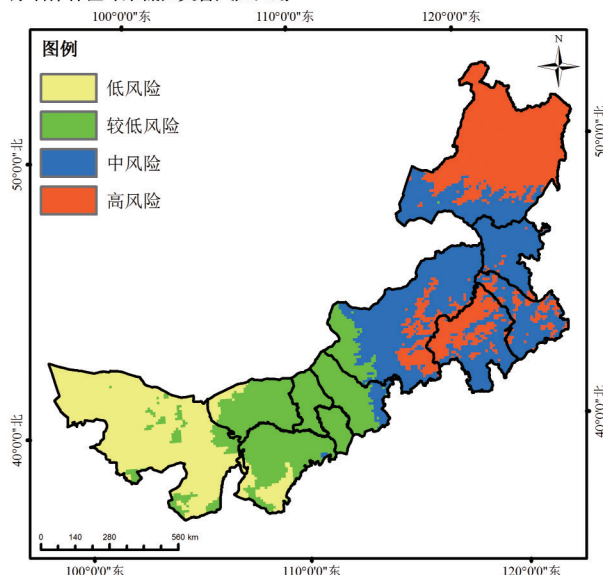
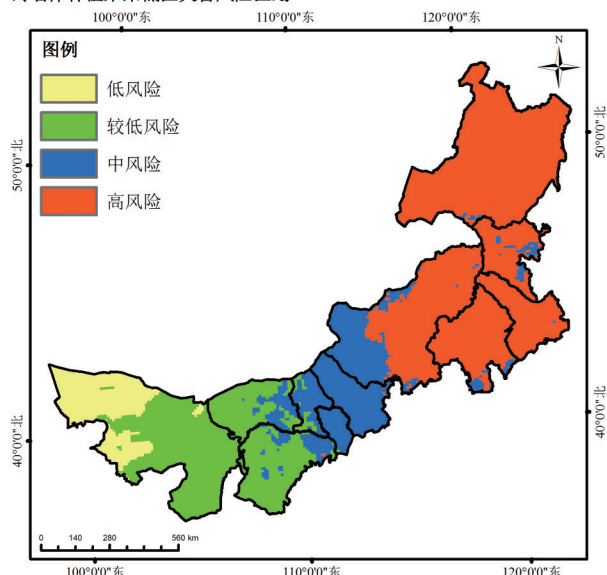


图5 内蒙古厚墙体日光温室种植果菜和叶菜低温灾害风险区划

砖墙体种植果菜低温灾害风险区划



砖墙体种植叶菜低温灾害风险区划

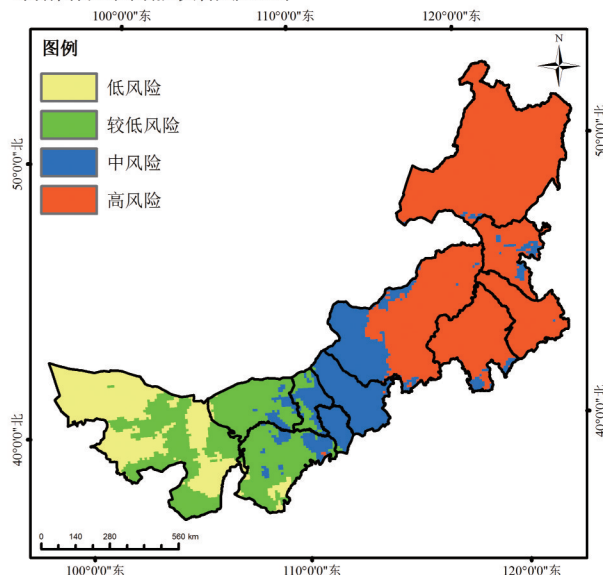


图6 内蒙古砖墙体日光温室种植果菜和叶菜低温灾害风险区划

的低风险区主要分布在阿拉善盟部分地区、乌海市、巴彦淖尔市西北部局部和鄂尔多斯市偏南部局部，约占全区总面积的13.4%，该区域除乌海市和阿拉善盟东南部局部区域外，大部地区属于荒漠区或沙地植被区，不适宜日光温室的建设。较低风险区分布在阿拉善盟中东部部分地区、巴彦淖尔市大部、鄂尔多斯市大部、包头市、呼和浩特市大部和乌兰察布市西北部，约占全区总面积的29.0%，其中巴彦淖尔市北部、包头市北部和乌兰察布市北部为荒漠草原区，阿拉善盟、鄂尔多斯市西南部为沙地植被区，上述区域不适宜发展日光温室，所以属于低温灾害较低风险且土地利用合理区域主要分布在鄂尔多斯市东南部分地区的地区、包头市南部、呼和浩特市西南部和乌兰察布市西南部。中风险区主要分布在呼和浩特市西北部部分地区、乌兰察布市东南部、锡林郭勒盟西北部大部、赤峰市东南部部分地区、通辽市西南部分地区、兴安盟北部及东部和呼伦贝尔市偏西南部，约占全区总面积的20.3%。高风险区主要分布在呼伦

贝尔市大部、兴安盟西南部、通辽市大部、赤峰市中北部和锡林郭勒盟东南部地区,约占全区总面积的37.3%。

种植叶菜低风险区主要分布在阿拉善盟大部、乌海市、巴彦淖尔市西北部局部和鄂尔多斯市偏南部局部,约占全区总面积的21.2%,该区域除乌海市和阿拉善盟东南部局部区域外,大部地区属于荒漠区或沙地植被区,不适宜日光温室的建设。较低风险区分布在阿拉善盟局部地区、巴彦淖尔市大部、鄂尔多斯市大部、包头市、呼和浩特市和乌兰察布市大部,约占全区总面积的23.5%,其中巴彦淖尔市北部、包头市北部和乌兰察布市北部为荒漠草原区,阿拉善盟、鄂尔多斯市西南部为沙地植被区,上述区域不适宜发展日光温室,所以属于低温灾害较低风险且土地利用合理区域主要分布在鄂尔多斯市东南部部分的地区、包头市南部、呼和浩特市西南部和乌兰察布市西南部。中风险区主要分布在乌兰察布市偏东南部、锡林郭勒盟中部及北部大部、赤峰市东南部、通辽市大部、兴安盟大部和呼伦贝尔市南部,约占全区总面积的31.3%,其中乌兰察布市东南部、锡林郭勒盟偏南部、赤峰市东南部、通辽市偏南部和中东部、兴安盟东南部和呼伦贝尔市偏东南部地区为农区。重风险区分布在呼伦贝尔市大部、兴安盟西南部、通辽市大部、赤峰市中北部和锡林郭勒盟东南部地区,约占全区总面积的24.0%。

(2) 利用自然断点法对内蒙古砖墙体日光温室种植果菜和叶菜低温灾害风险进行划分,区域内风险指数 <0.70 的为低风险区, $0.70 \sim 0.85$ 为较低风险区, $0.85 \sim 0.95$ 为中风险区, >0.95 为重风险区。种植果菜的低风险区主要分布在阿拉善盟西北部,约占全区总面积的8.2%,该地区属于荒漠区或沙地植被区,不适宜日光温室的建设。较低风险区分布在阿拉善盟东南部、巴彦淖尔市中西部大部、鄂尔多斯市大部和包头市偏北和偏南局部地区,约占全区总面积的24.1%,其中巴彦淖尔市北部、包头市北部为荒漠草原区,阿拉善盟中北部、鄂尔多斯市西南部为荒漠区或沙地植被区,上述区域不适宜发展日光温室,所以阿拉善盟东南部、乌海市、鄂尔多斯市西南部及偏东南部局部地区和包头市南部局部地区属于低温灾害风险较低且土地利用合理区域。中风险区分布在巴彦淖尔市东南部部分地区、鄂尔多斯市东北部部分地区、包头市大部、呼和浩特市、乌兰察布市、锡林郭勒盟西北部和偏南部部分地区、赤峰市偏南部和兴安盟东南部局部,约占全区总面积的17.7%,其中巴彦淖尔市东南部、鄂尔多斯市东南部、包头市南部、呼和浩特市西南部、乌兰察布市东南部、锡林郭勒盟偏南部、赤峰市偏南部和兴安盟东南部地区为农区,砖墙体日光温室种植果菜风险偏高。重风险区主要分布在呼伦贝尔市、兴安盟中西部、通辽市、赤峰市大部和锡林郭勒盟中东部地区,约占全区总面积的50.0%,上述地区低温灾害风险指数高。

种植叶菜低风险区主要分布在阿拉善盟西北部及东部部分地区、乌海市和鄂尔多斯市南部局部地区,约占全区总面积的13.5%,仅阿拉善盟东南部部分地区和乌海市属于农区可以建设砖墙体日光温室种植叶菜。较低风险区分布在阿拉善盟中东部、巴彦淖尔市大部、鄂尔多斯市大部、包头市西部和呼和浩特市南部局部,约占全区总面积的20.0%,其中巴彦淖尔市南部、鄂尔多斯市西北部、包头市西南部和呼和浩特市偏南部局部土地利用类型适宜建设日光温室。中风险区主要分布在巴彦淖尔市东南部局部地区、鄂尔多斯市东北部局部地区、包头市东部、呼和浩特市、乌兰察布市、锡林郭勒盟西北部和偏南部部分地区、赤峰市偏南部和兴安盟东南部局部,约占全区总面积的16.5%,其中巴彦淖尔市东南部、鄂尔多斯市东南部局部、包头市东南部、呼和浩特市西南部、乌兰察布市东南部、锡林郭勒盟偏南部、赤峰市偏南部和兴安盟东南部地区为农区。重风险区主要分布在呼伦贝尔市、兴安盟中西部、通辽市、赤峰市大部和锡林郭勒盟中东部地区,约占全区总面积的50.0%。

3 结论与讨论

该研究通过不同类型日光温室内1月下旬监测到的每日最低气温,建立不同类型日光温室低温预报模型,分别划定种植果菜和叶菜的低温灾害等级,利用CLDAS数据建立内蒙古全区两种日光温室(厚墙体和砖墙体)分别种植果菜和叶菜的低温灾害风险区划。区划结果空间分辨率较高,可以更好地为日光温

室建设提供决策依据,为全区设施农业稳产高产发展提供一定借鉴意义。

通过厚墙体种植果菜、厚墙体种植叶菜、砖墙体种植果菜和砖墙体种植叶菜4种不同类型低温灾害风险区划结果可以看出,西部大部农区无论种植果菜还是叶菜,使用砖墙体结构日光温室既可保证低温风险灾害处于较低水平,又可以兼顾建造成本,冬季只需在强降温天气过程中做好保暖措施,发生冷冻害概率很低。中部大部农区使用厚墙体日光温室为较低风险等级,使用砖墙体日光温室为中风险等级,所以该地区要进行全年生产的情况下,建设厚墙体日光温室能够更好保护设施蔬菜少遭受低温灾害风险,更有利于高产稳产。东部偏南及中东部农区使用厚墙体日光温室为中风险等级,使用砖墙体日光温室为高风险等级,说明在东部区使用砖墙体日光温室种植蔬果的低温风险灾害较高,使用该类型日光温室需选择耐寒性较强的蔬菜、冬季最冷时段间断生产,或者通过后墙体外部培土、建设下挖式日光温室、建设温室前墙等方法增加日光温室保温性能。

该研究区划结果虽然使用CLDAS格点数据使得空间分辨率有明显提升,但在精细化的道路上依旧有很大需要进步的空间。首先在构建低温灾害风险指标时,由于没有针对性的实验结果,所以只能粗略地将生产对象分为果菜和叶菜,没有针对具体作物进行划分。不同的作物在耐寒性上有所不同,会对区划结果有所影响。其次,日光温室构造非常复杂,日光温室的跨度、高度、墙体厚度、是否下挖、是否有前墙、保温帘材质等多种因素都会影响日光温室的保温性能,因此在建立模型时,只分别选了一个站点数据建立模型,以防止多站点数据无法保证观测的统一。在实际生产中内蒙古东部区的日光温室的保温措施一定强于西部区,所以典型的砖墙体日光温室一般仅存于西部区,而厚墙体日光温室多见于中部区,考虑其代表性因素,该研究选取的两个站点不在同一区域。但鉴于其观测设备为同一厂家,且相同年份建设使用,可一定程度上降低其差异性。再次,该研究的日光温室低温灾害风险区划仅考虑了致灾因子危险性,没有考虑其防灾减灾能力和承载体脆弱性等因素。这是因为在前人研究中表明,致灾因子危险性对综合区划的贡献率在95%以上,且对于相同区域日光温室构建有一定的规范要求,所以其暴露度、脆弱性和防灾减灾能力较为一致^[22]。所以日光温室低温灾害危险性区划基本上与综合区划结果较为相似,所以该研究区划结果有一定实际参考意义。最后,日光温室的热量增加离不开太阳辐射,所以在设施农业上严重的低温冷冻害的发生一般都伴随着寡照,但内蒙古地区辐射资源丰富,较少会出现连阴天,故该研究中没有考虑寡照的问题。

参考文献

- [1] 彭继权,秦小迪.新世纪以来农业基础设施减贫效应研究.中国农业资源与区划,2021,42(1): 206-215.
- [2] 吴曼丽,张淑杰,孙立德,等.不同类型日光温室气温对比分析.江苏农业科学,2020,48(11): 227-228.
- [3] 李小芳,陈青云.墙体材料及其组合对日光温室墙体保温性能的影响.中国生态农业学报,2006(4): 185-189.
- [4] 许红军,曹晏飞,李彦荣,等.基于CFD的日光温室墙体蓄热层厚度的确定.农业工程学报,2019,35(4): 175-184.
- [5] 张洁.杨凌地区不同蓄热墙体日光温室性能比较与分析[硕士论文].咸阳:西北农林科技大学,2016.
- [6] 张明洁,赵艳霞.北方地区日光温室气候适宜性区划方法.应用气象学报,2013,24(3): 278-286.
- [7] 李德,杨大明,刘瑞娜,等.安徽省设施农业冬季低温风险分析和区划.中国农业气象,2013,34(6): 703-709.
- [8] 王惠贞,唐红艳,韩雪,等.内蒙古大豆秋季霜冻风险指数分析及灾害风险区划研究.中国农业资源与区划,2022,43(2): 23-32.
- [9] 郑艳姣,杨再强,王琳,等.中国南方设施番茄高温热害风险区划.应用气象学报,2021,32(4): 432-442.
- [10] 戴永久.陆面过程模式研发中的问题.大气科学学报,2020,43(1): 33-38.
- [11] Rodell M, Houser P R, Jambor U, et al. The global land data assimilation system. Bulletin American Meteorological Society, 2004, 85(3): 381-394.
- [12] Rodell M. Land data assimilation system. (2021-8-11)[2021-9-9]. <http://ldas.gsfc.nasa.gov>.
- [13] 韩帅,师春香,姜志伟,等.CMA高分辨率陆面数据同化系统(HRCLDAS-V1.0)研发及进展.气象科技进展,2018,1(8): 102-116.
- [14] 龚伟伟.CMA陆面数据同化系统(CLDAS)产品评估[硕士论文].南京:南京信息工程大学,2014.
- [15] 王智慧,师春香,沈润平,等.CLDAS驱动陆面模式模拟中国区域潜热通量的精度评价.中国农业气象,2020,41(12): 761-773.
- [16] 牛乾坤,刘浏,程淑雅,等.基于多源遥感数据的河套灌区干旱时空演变特征.干旱地区农业研究,2020,38(4): 266-277.

- [17] 武荣盛, 吴瑞芬, 金林雪, 等. 基于CLDAS数据的内蒙古春小麦精细化农业气候区划. 生态学杂志, 2020, 39(7): 2436–2445.
- [18] 吴颖菊, 朱奎, 鲁帆, 等. 基于CLDAS数据和机器算法模型的大清河流域地表土壤湿度降尺度研究. 水利水电技术, 2019, 50(10): 18–24.
- [19] 张俊兵. CLDAS2.0长序列辐射驱动数据研制与分析评估[硕士论文]. 南京: 南京信息工程大学, 2019.
- [20] 满都呼主编. 内蒙古地理. 北京: 北京师范大学出版社, 2016.
- [21] 孙立德, 孙虹雨. 设施农业小气候及精细化农用天气预报技术. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 2018.
- [22] 薛晓萍, 李楠, 杨再强. 日光温室黄瓜低温冷害风险评估技术研究. 灾害学, 2013, 28(3): 61–65.

RESEARCH OF THE RISK INDEX AND THE RISK ZONES OF LOW TEMPERATURE OF SOLAR GREENHOUSE IN THE INNER MONGOLIA BASED ON CLDAS*

Yue Kun, Jin Linxue, Wu Ruifen^{*}, Jiang Shaojie

(Ecological and Agricultural Meteorological Center in Inner Mongolia, Huhhot 010051, Inner Mongolia, China)

Abstract In the north of China, low temperature and cold damage is the most important meteorological disaster that affects the agricultural production of solar greenhouses. In order to improve the return on investment and energy conservation and emission reduction, it is necessary to establish a refined low temperature risk index of solar greenhouses, and to reveal the spatial distribution characteristics of low temperature disasters in Inner Mongolia solar greenhouses. In this study, the temperature data observed in different types of solar greenhouses and the temperature data of the National Weather Station were used to establish a minimum temperature forecast model of solar greenhouses. Meteorological indicators were defined according to the conditions required for the growth of fruit vegetables and leafy vegetables in the solar greenhouse. Using the temperature data of China Meteorological Administration Land Data Assimilation System (CLDAS), low temperature disaster risk index models for planting fruit vegetables and leafy vegetables in two types of solar greenhouses (brick walls and thick walls) were established, and disaster risk zones for solar greenhouses in Inner Mongolia were made. The results showed that the lowest risk areas where fruit vegetables and leafy vegetables were grown on brick walls and thick walls were mainly distributed in the western part of Inner Mongolia, accounting for about 8.2% to 21.2% of the total area. The lower risk areas were mainly distributed in the east–west and central–west regions, accounting for about 20.0% to 29.0% of the total area. The medium and high risk areas were mainly distributed in the east and east of central Inner Mongolia, accounting for more than 55.3% of the total area. In summary, on the premise of considering continuous production and cost saving, most agricultural areas in the west should build solar greenhouses with brick walls; in the central and south–eastern regions, solar greenhouses with thick walls should be built; where solar greenhouses are built in the eastern region, it is necessary to strengthen thermal insulation measures, select cold-resistant crops or interrupt production in winter.

Keywords solar greenhouse; China Meteorological Administration Land Data Assimilation System, CLDAS, risk zones of disaster; low temperature damage; Inner Mongolia