

DOI: 10.5846/stxb201406161251

郑冬晓, 杨晓光, 赵锦, 慕臣英, 龚宇. 气候变化背景下黄淮冬麦区冬季长寒型冻害时空变化特征. 生态学报, 2015, 35(13): 4338-4346.

Zheng D X, Yang X G, Zhao J, Mu C Y, Gong Y. Spatial and temporal patterns of freezing injury during winter in Huang-Huai Winter Wheat Area under climate change. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(13): 4338-4346.

气候变化背景下黄淮冬麦区冬季长寒型冻害时空变化特征

郑冬晓¹, 杨晓光^{1,*}, 赵 锦¹, 慕臣英¹, 龚 宇²

¹ 中国农业大学资源与环境学院, 北京 100193

² 河北省遵化市气象局, 唐山 064200

摘要: 冻害是影响我国北方冬小麦生产主要的农业气象灾害之一, 明确气候变化背景下冻害发生规律和演变特征, 对防御冻害具有重要的意义。以黄淮冬麦区为研究区域, 利用 1960—2010 年 47 个气象站逐日气温资料, 在分析越冬期负积温和越冬期长度变化特征基础上, 以越冬期负积温为指标分析了黄淮冬麦区冬季长寒型冻害发生频率及站次比演变特征, 并利用冻害实际灾情资料对研究结果进行验证。研究结果表明: (1) 黄淮冬麦区越冬期负积温绝对值在过去 50a 平均为 17.3—240.8 °C·d, 空间上呈南少北多的纬向分布特征, 且近 50a 呈减少趋势, 全区负积温绝对值每 10 年减少 1.8—38.3 °C·d, 这种变化趋势表现为南低北高的空间分布特征; (2) 研究时段内全区越冬期长度呈波动性缩短趋势, 尤其是研究区域北部地区, 南部地区越冬期长度年际间变化不显著, 且个别站点有些年份没有稳定越冬期, 多集中在 1985 年以后; (3) 黄淮冬麦区较轻冻害发生频率较高, 为 40% 以上, 空间上由北向南逐渐增大, 站次比年代际呈增加趋势; 中度冻害和较重冻害发生频率较低, 多数站点在 10% 以下, 空间上由北向南逐渐减小, 站次比呈减少趋势; 全区无严重冻害和极严重冻害风险。气候变化背景下, 黄淮冬麦区冬季长寒型冻害风险较小, 各站点冻害程度随年代变化逐渐减轻, 较轻冻害的站点逐渐增多。

关键词: 气候变化; 黄淮冬麦区; 冬小麦; 冬季长寒型冻害; 时空分布

Spatial and temporal patterns of freezing injury during winter in Huang-Huai Winter Wheat Area under climate change

ZHENG Dongxiao¹, YANG Xiaoguang^{1,*}, ZHAO Jin¹, MU Chenying¹, GONG Yu²

¹ College of Resources and Environmental Sciences, China Agricultural University, Beijing 100193, China

² Zunhua Meteorological Bureau, Tangshan 064200, China

Abstract: Freezing injury is one of the most serious agro-meteorological disasters of winter wheat in North China, restricting yield and its suitability. Under the background of climate change, the warming trend in China is significant, especially in winter. However, freezing injury of winter wheat during winter still happened sometimes in Huang-Huai Winter Wheat Area (HHWWA), therefore, identify the spatial and temporal patterns of freezing injury during winter under the background of climate change is very important to defense the freezing injury. In this study, based on the daily temperature data of 47 meteorological stations in HHWWA from 1960 to 2010, the trends of accumulated negative temperature and over-wintering durations were analyzed, and spatial and temporal variation of freezing injury during winter in HHWWA were identified, taking the accumulated negative temperature as freezing injury indices. Over the past 50 years, the average absolute values of accumulated negative temperature were ranged from 17.3 to 240.8 °C·d, increased from south to north. Moreover, the accumulated negative temperature decreased at a rate of 1.8—38.3 °C·d per decade from 1961 to 2010, and the higher

基金项目: 公益性行业(气象)科研专项经费项目(GYHY201106030); 国家科技支撑计划课题(2012BAD20B04)

收稿日期: 2014-06-16 网络出版日期: 2015-01-27

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: yangxg@cau.edu.cn

values of trends were in the north. The over-wintering durations was also one of the important indicators of over-wintering conditions of winter wheat. In the study area, over-wintering durations decreased over the past 50 years, especially in the north areas, however there were no significant decreasing trends for the south areas, and no stable over-wintering periods for some south stations in some years, especially after 1985. Based on the analysis of accumulated negative temperature and over-wintering durations, the frequency and station ratio of freezing injury of different grades was studied. In HHWWA, the frequency of slight freezing injury was more than 40%, and increased from north to south. The ratio of existing station increased during the past 50 years. The frequencies of moderate and slightly severe freezing injury of most stations were under 10%, and decreased from north to south. The ratio of existing station decreased during the past 50 years. There was no severe freezing injury and extreme severe freezing injury over the whole region. Overall, in HHWWA, the risk of freezing injury during winter is low. The degree of the freezing injury reduced from 1961 to 2010, but the stations with slight freezing injury increased gradually. The results may reflect freezing injury during winter to a certain extend. However, there were many factors related to freezing injury, including meteorological conditions, soil conditions, management measures and so on. Therefore, a deeper and more systematic study on freezing injury involving all factors as well as on the effect of freezing injury on winter wheat yield is needed in the future.

Key Words: climate change; Huang-Huai Winter Wheat Area; winter wheat; freezing injury during winter; spatial and temporal patterns

小麦是我国三大粮食作物之一,近 5 年种植面积和产量分别占全国粮食作物的 22.2%和 21.3%^[1],其中,冬小麦种植面积和产量分别占全国小麦的 85%和 90%^[2]。冬小麦冻害是指在越冬休眠期和早春萌动期长时期的 0℃以下低温或强烈降温对麦苗造成伤害,是影响北方冬小麦生产的主要农业气象灾害之一^[3],制约着我国小麦的高产稳产。冬小麦冻害主要分为初冬温度骤降型、冬季长寒型和融冻型 3 种类型^[3]。气候变暖背景下,黄淮冬麦区冬小麦越冬冻害仍时有发生,如 2004—2005 年黄淮冬麦区因冬季气温变幅大并出现阶段性严寒天气,大面积冻害发生,受灾面积为 333 万 hm^2 ,占总播种面积的 31.2%,其中严重冻害超过 33.3 万 hm^2 ^[4]。近年来,冬小麦冻害发生原因、发生频率和影响范围发生了一定变化,近年来黄淮冬麦区冻害表现出干旱等并发型特征^[5-6]。

20 世纪,许多专家对冬小麦冻害进行了大量研究,早期研究主要集中于冻害指标、影响因素^[3,7-9]、低温持续时间对冻害死苗率的影响^[7,10]、冻害防御措施以及冻害区划^[3,8,11-12]等方面。于玲^[13]提出以负地积温和有害负地积温反映不同冬春性品种小麦冬季冻害程度,赵玉田等^[14]通过人工气候模拟鉴定方法,得出不同抗冻能力品种的半致死临界温度。国际上一些专家从基因层次研究了小麦的抗寒性^[15-16]。21 世纪以来,国内外专家在冬小麦抗寒性及影响因素^[17-21]、冻害防御措施^[22-23]、冻害风险评估^[24]、遥感监测和预报^[25-29]、模型的构建^[30]等方面进行了更加深入系统的研究。而针对气候变暖背景下不同类型冻害的空间分布特征和时间演变趋势分析还鲜见报道。

负积温为 0℃以下温度的累积,表示冬季冷暖程度,也是重要的评价冬季长寒型冻害的指标^[31]。本文分析气候变化背景下越冬期长度变化特征,并以越冬期负积温为指标,并结合 1 月份平均气温、极端最低气温及越冬期长度的年际变化,分析近 50a 黄淮冬麦区冬季长寒型冻害的时空变化特征,明确研究区域冬季长寒型冻害发生频率及站次比时空演变特征,为冬小麦品种合理布局、采取合理的农业措施保证冬小麦安全越冬提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

根据全国农业区划委员会中国小麦种植区划结果^[32],选取黄淮冬麦区为研究区域(见图 1),包括山东全省,河南除信阳地区以外全部地区,河北中南部、江苏和安徽两省的淮河以北地区,陕西关中平原,山西西南部

及甘肃天水地区。

1.2 数据来源

数据来自中国气象科学数据共享服务网,包括黄淮冬麦区 47 个气象站点 1960—2010 年地面气象观测资料中的逐日平均气温,冬小麦冻害灾情资料来源于《中国气象灾害大典》^[33-36]。

1.3 研究方法

1.3.1 冬季长寒型冻害指标

以华北地区冬小麦冻害区划指标^[3]中越冬期负积温为冬季长寒型冻害指标。越冬期负积温是指冬小麦越冬期间日平均气温低于 0℃ 的累积值,为冬小麦等越冬作物能否安全越冬的重要限制因素。本文采用农业气候学中常用的 5 日滑动平均法^[37],确定日平均气温稳定通过 ≤0℃ 的初日(入冬期)作为越冬期的起始日期,次年日平均气温稳定通过 ≥0℃ 初日作为越冬期的终止日期。由于负积温是低于 0℃ 的累积值,为了避免引起歧义,方便叙述和比较,本文对于负积温描述中主要讨论负积温绝对值大小。由于冬小麦跨年生长,我们将冬小麦收获年度作为其生育年度。

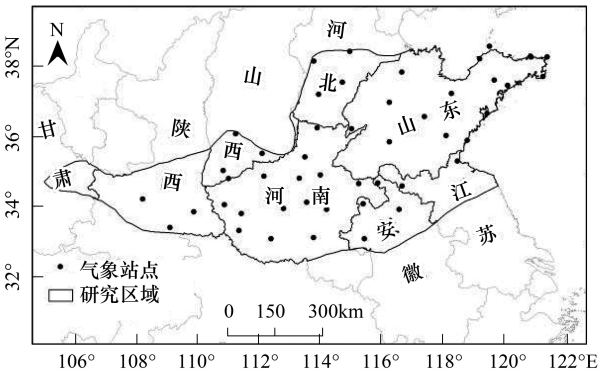


图 1 研究区域及气象站点分布
Fig.1 The study area and the distribution of meteorological stations

表 1 冬季长寒型冻害等级划分标准

Table 1 The index of freezing injury during winter of winter wheat

冻害等级划分 Freezing injury grades	负积温绝对值/(℃·d) The absolute value of accumulated negative temperature
较轻冻害 Slight freezing injury	<230
中度冻害 Moderate freezing injury	230—290
较重冻害 Slightly severe freezing injury	290—510
严重冻害 Severe freezing injury	510—790
极严重冻害 Extreme freezing injury	>790

1.3.2 越冬期长度的确定

除越冬期负积温外,越冬期长度也是反映冬小麦越冬期条件重要指标之一。本文将利用 5 日滑动平均法得到的越冬期起始日期与终止日期之间的日数记为越冬期长度,对于日平均气温无稳定通过 ≤ 0℃ 的站点和年份,将该站点越冬期长度记为 0d。

1.3.3 气候倾向率

在计算气候要素变化趋势时,采用最小二乘法,计算样本与时间的线性回归系数 a ,从而要素的变化即可用一次线性方程表示,如公式(1):

$$\hat{x}_t = b + at \quad t = 1, 2, \cdots, n(a)$$

(1)

式中, a 和 b 为回归系数,以 a 的 10 倍作为气候要素倾向率(某要素单位/10a,如负积温倾向率为℃·d·10a⁻¹)。

1.3.4 冻害站次比的计算方法

冻害站次比是指研究区域内某一年发生冻害的站点数占研究区域全部站点数的百分比,以此表示研究区域冻害发生范围的大小,也从另外一个侧面反应冻害严重程度。

2 结果与分析

2.1 越冬期负积温时空变化特征

图 2 为黄淮冬麦区越冬期负积温及其年代间变化趋势的空间分布。由图可以看出,黄淮冬麦区越冬期负

积温呈现明显的纬向分布趋势,由北向南负积温绝对值逐渐减小。1961—2010年,全区负积温绝对值50a平均为17.3—240.8℃·d,且南部地区和北部地区之间差异较大,最大值位于河北饶阳,河北南部和山东北部负积温绝对值50a平均为100.1—200.0℃·d,陕西、甘肃、安徽和河南大部分地区负积温绝对值在17.3—100.0℃·d之间。江苏和山东沿海地区较同纬度内陆地区负积温绝对值偏小。

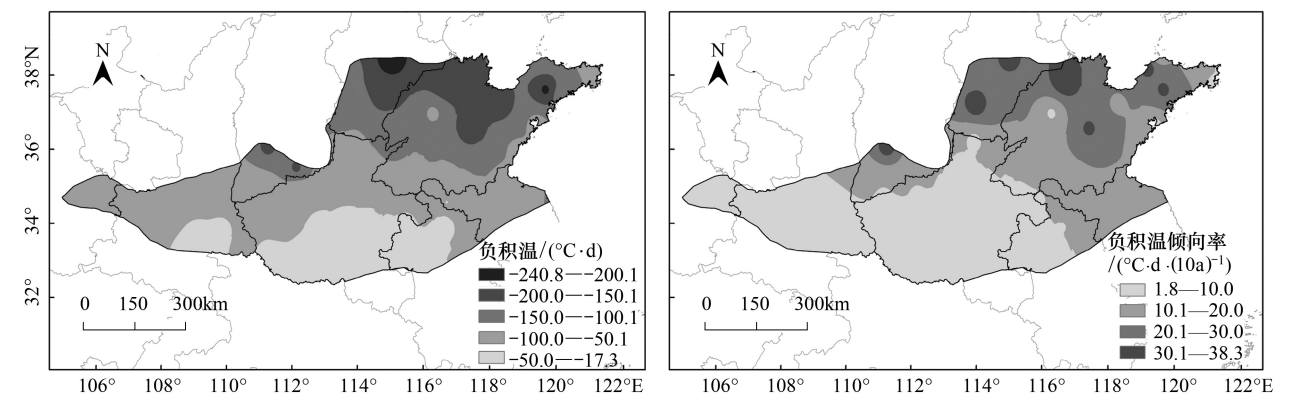


图2 黄淮冬麦区负积温及其气候倾向率空间分布

Fig.2 The spatial distribution of accumulated negative temperature and climatic tendency of accumulated negative temperature in Huang-Huai Winter Wheat Area

用负积温的气候倾向率表示负积温时间演变趋势,结果表明,全区负积温绝对值呈减小趋势,平均每10a减小1.8—38.3℃·d。通过各站点越冬期负积温随年际变化趋势的统计检验可知,30个站点通过 $\alpha=0.05$ 的显著性检验,其中19个站点通过 $\alpha=0.01$ 的极显著性检验,见表2。越冬期负积温减少趋势由南向北逐渐增大,北部的河北邢台、山东莱阳等地区负积温的气候倾向率大于 $30.0\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}\cdot(10\text{a})^{-1}$,河南大部、陕西南部 and 安徽部分地区越冬期负积温绝对值减小较慢,为 $1.8\text{—}10.0\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}\cdot(10\text{a})^{-1}$,其中最小值位于河南许昌。由此可以看出,黄淮冬麦区北部负积温绝对值减小比较明显,南部负积温绝对值减小相对较少。而山东和江苏地区负积温倾向率与同纬度其他地区相比偏高,即山东和江苏地区负积温绝对值减小较快。

表2 越冬期负积温和越冬期长度变化趋势统计检验

Table 2 Statistical tests of the climatic tendency of the accumulated negative temperature and over-wintering durations		
显著性检验 Significant test	负积温/(℃·d) The accumulated negative temperature	越冬期长度/d Over-wintering durations
$\alpha=0.05$ 显著性检验 Significant at $\alpha=0.05$	30(64%)	14(30%)
$\alpha=0.01$ 极显著性检验 Significant at $\alpha=0.01$	19(40%)	10(21%)

表中数据表示通过显著性检验的站点数和站次比

2.2 越冬期长度年际变化特征

图3为黄淮冬麦区全区及各省份越冬期长度年际变化趋势。由图可以看出,黄淮冬麦区50a平均越冬期长度为44.1d,最大值为75.8d(1985年),最小值为14.6d(1999年)。全区越冬期长度呈波动缩短的趋势,平均每10a缩短3.1d。通过各站点越冬期长度随年际变化趋势的统计检验可知,14个站点通过 $\alpha=0.05$ 的显著性检验,其中10个站点通过 $\alpha=0.01$ 的极显著性检验(表2)。研究时段内,20世纪90年代越冬期长度与其他年代相比最短。

研究区域内各省份越冬期长度各不相同,且呈不同程度的波动缩短趋势。其中,河北省越冬期最长,但越冬期长度缩短速率也最快,越冬期长度50a平均为59.3d,最大值为95.5d(1971年),最小值为24.3d(1999年),平均每10a越冬期长度缩短5.2d,缩短趋势极显著,20世纪90年代年际间波动较小,基本呈平稳缩短趋势。山东省越冬期长度及其缩短速率都小于河北,50a平均长度为52.0d,平均每10a缩短3.1d。陕西和山西

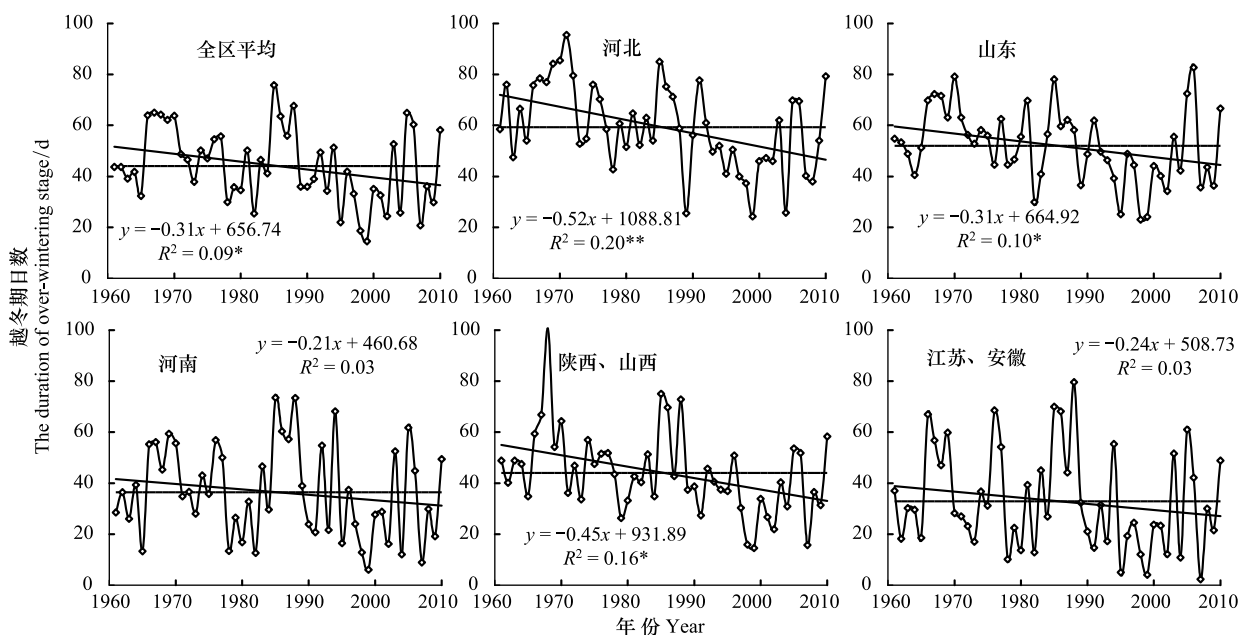


图3 全区及各省份越冬期长度年际变化趋势

Fig3 The annual variation of over-wintering durations in Huang-Huai Winter Wheat Area and each province

* 表示在 0.05 水平上显著, ** 表示在 0.01 水平上显著

省越冬期长度 50a 平均为 44.0d, 年际缩短趋势显著, 缩短速率小于河北, 高于山东, 平均每 10a 缩短 4.5d, 陕西南部的商州 (1965 年) 和镇安 (1987、1990、1991、1995、2001、2002、2010 年) 个别年份无稳定越冬期。河南省越冬期长度 50a 平均为 36.4d, 年际间波动较大, 缩短趋势不显著, 河南南部的西峡 (1965、1971、1975、1991、1995、1999、2002、2007 年)、南阳 (1965、1975、1991、1999、2007 年) 和驻马店 (1999、2007、2009 年) 个别年份无稳定越冬期。江苏和安徽越冬期最短, 50a 平均为 32.9d, 年际间波动较大, 缩短趋势不显著。安徽的亳州 (2007 年)、宿县 (2007 年) 和阜阳 (1991、1995、1999、2007 年) 个别年份无稳定越冬期。

2.3 冬季长寒型冻害时空变化特征

以上我们分析了气候变化背景下冬小麦越冬期长度和越冬期负积温变化特征。下面我们基于表 1 中冬季长寒型冻害等级划分标准, 分析冬季长寒型冻害时空变化特征。

2.3.1 各等级冬季长寒型冻害发生频率空间分布特征

图 4 为黄淮冬麦区不同等级冻害发生频率的空间分布特征。由图可知, 黄淮冬麦区较轻冻害发生频率大于 40%。河北南宫、饶阳和山东惠民、沂源、潍坊、莱阳较轻冻害频率为 44%—80%, 最小值为河北饶阳; 轻冻害频率总体呈现由北向南逐渐增加的趋势, 且沿海地区频率高于邻近的内陆地区。

黄淮冬麦区中度冻害频率为 0—26%, 96% 的站点中度冻害频率在 14% 以下, 其中河南、陕西、安徽、江苏、宁夏和山东南部站点较轻冻害频率不高于 2%, 而河北饶阳地区中度冻害频率较高, 为 26%; 中度冻害频率的空间分布趋势与较轻冻害相反, 呈现由北向南逐渐减少的趋势, 山东半岛沿海站点的中度冻害频率相对较低。

除河北饶阳 (30%)、南宫 (12%) 和山东惠民 (22%)、莱阳 (22%)、沂源 (16%) 外, 较重冻害发生频率低于 10%, 70% 的站点较重冻害频率为 0%。与中度冻害频率空间分布类似, 较重冻害频率呈现由北向南逐渐减少的空间分布趋势, 河北饶阳较重冻害频率也最高。

黄淮冬麦区各站点严重冻害和极严重冻害频率都为 0%, 即没有发生严重冻害和极严重冻害的风险。

2.3.2 各等级冬季长寒型冻害站次比年代际变化特征

图 5 为黄淮冬麦区各等级冬季长寒型冻害年际变化特征。由图可知, 黄淮冬麦区较轻冻害站次比呈增加

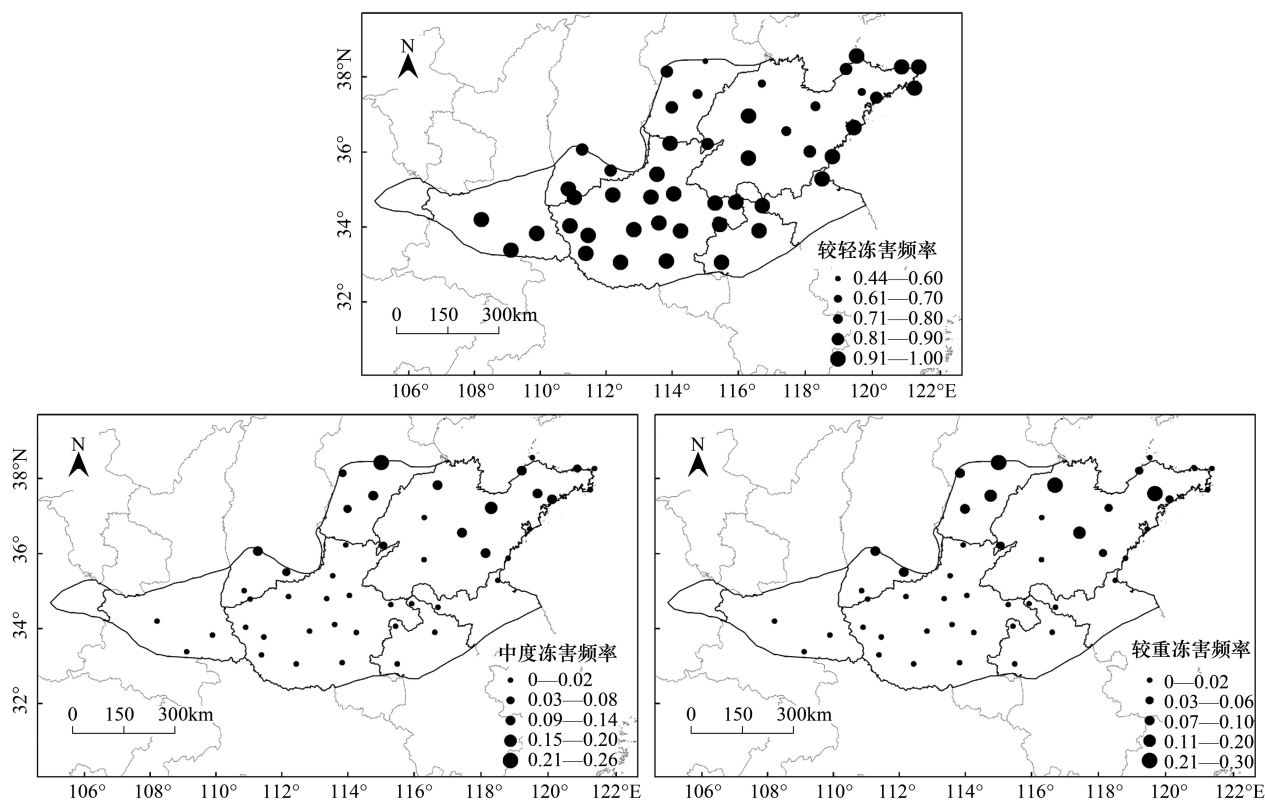


图 4 黄淮冬麦区各等级冬季长寒型冻害频率空间分布

Fig.4 The spatial distribution of each grade freezing injury frequency in Huang-Huai Winter Wheat Area

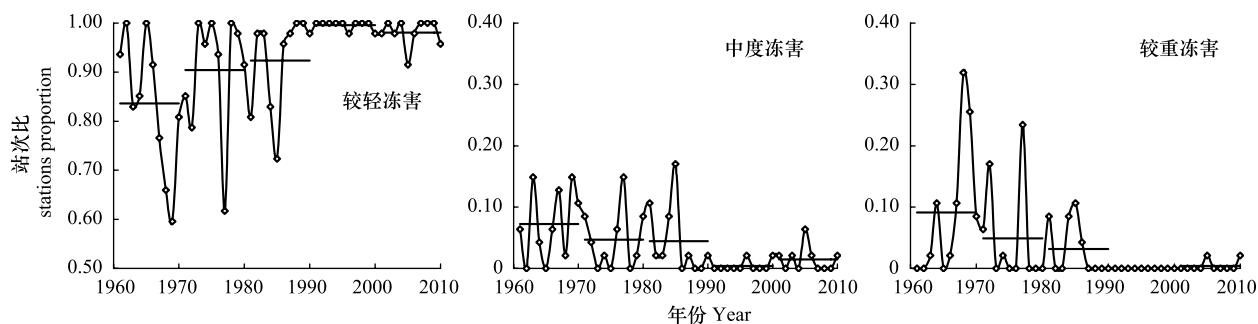


图 5 黄淮冬麦区冬季长寒型冻害站次比年际变化

Fig.5 The annual variation of station ratio of freezing injury during winter in Huang-Huai Winter Wheat Area

趋势,88%的年份较轻冻害站次比在80%以上,其中40%的年份较轻冻害站次比为100%,表明黄淮冬麦区大多数年份易发生较轻冻害。20世纪60年代、70年代和80年代较轻冻害站次比年际波动比较大,20世纪90年代较轻冻害站次比较高,除1990、1996和2000年较轻冻害站次比为98%外,其他年份均为100%,表明轻度冻害发生范围较大。21世纪以来,较轻冻害的站次比年际间有小幅波动,且冻害站次比年代平均值低于20世纪90年代,但波动幅度小于1961—1985年,站次比维持在90%以上,轻度冻害发生范围仍然较大。

中度冻害和较重冻害站次比都呈减少趋势,年代际间变化趋势基本一致。除1968年较重冻害站次比为32%外,其他年份中度冻害和较重冻害站次比都在30%以下,其中,42%的年份中度冻害站次比为0%,66%的年份较重冻害站次比为0%。部分年份(1964、1968、1969、1972年、1986年)较重冻害站次比高于中度冻害。1986—2010年中度冻害和较重冻害站次比均维持在10%以下,除2005年中度冻害站次比为6%外,其他年份中度冻害站次比均在2%以内,除河北饶阳(1986、2005、2010年)和山东莱阳(1986年)有较重冻害风险,其他

地区均无较重冻害风险。

2.3.3 冬季长寒型冻害实际灾情验证

本文利用前人研究指标分析了黄淮冬麦区冬季长寒型冻害发生特征,为验证所得结果是否合理,基于《中国气象灾害大典》(河南卷^[33]、山东卷^[34]、河北卷^[35]、江苏卷^[36])有关冬小麦冻害实际灾情记录,选取了济南、饶阳、运城和徐州4个代表性站点,比较了基于冻害指标分析结果与生产实际中冻害发生状态的一致性。由于灾害大典中小麦冻害的记录截止到2000年,所以本文的验证年限为1961—2000年,总计40年。本文根据冬季长寒型冻害指标将冻害分为较轻冻害、中度冻害、较重冻害、严重冻害和极严重冻害5个等级,但灾害大典中冻害记录并没有划分相应的等级,根据《冬小麦冻害及其防御》关于华北地区冬小麦冻害区划中较轻冻害的描述,即只要品种、播期和播深合理,一般不至造成冻害,故将利用冻害指标计算的较轻冻害记为无冻害,中度冻害、较重冻害、严重冻害和极严重冻害均记为冻害,将验证结果分为符合、不符合和未记录3类,利用指标计算结果为冻害和灾害大典中有冻害记录的年份以及两者都无冻害的年份记为符合,将利用冻害指标计算结果为无冻害、灾害大典中有冻害的年份记为不符合,将利用冻害指标计算结果为冻害、灾害大典中为无冻害的年份记为未记录,分别统计了4个站点符合、不符合、未记录的年份数占总年份数的百分比。

表3为基于灾害大典中冻害记录对本文冬季长寒型冻害指标的验证结果。其中,运城、济南和徐州符合程度在90%以上,饶阳的未记录年份较多,占总年份数的52.5%,即指标计算结果为冻害,实际生产中无冻害或冻害较轻未调查记载,可能的原因是饶阳等黄淮冬麦区北部地区虽然冬季严寒,越冬期负积温绝对值较大,比较容易发生冻害,而在实际生产中比较重视冬小麦冻害防御,大多种植抗寒性较强的小麦品种,且比较重视冬前抗寒锻炼以及防冻保苗等田间管理措施。除了未记录的情况,饶阳、运城和徐州还存在指标与实际不符合的情况,即实际生产中发生了冻害而利用指标计算结果为无冻害。饶阳不符合的年份为1994年,该年1月17—18日最低气温从-5.6℃降到-12.4℃,降温幅度较大,越冬期负积温绝对值并不高,该年冻害主要是由于突然降温引起的,属于温度骤降型冻害。运城不符合的年份为1969、1977、1984年,1月份平均气温与50a平均值相比分别偏低2.6、2.9、1.0℃,越冬期冻害主要是由1月份低温引起的。徐州不符合的年份为1977、1981年,1月份平均气温与50a平均值相比分别偏低2.7、1.6℃。除了1月份平均气温和个别天数气温偏低外,出现指标和实际不符合的情况,还与当地种植的冬小麦品种抗寒性以及栽培管理措施有关。

表3 冬季长寒型冻害实际灾情验证

Table 3 Verification of freezing injury during winter/%

符合程度 Coincident level	济南	饶阳	运城	徐州
符合 Coincident	97.5	45.0	90.0	95.0
不符合 Incoincident	0.0	2.5	7.5	5.0
未记录 Unrecorded	2.5	52.5	2.5	0

3 结论

本文以我国黄淮冬麦区为研究区域,分析了气候变化背景下黄淮冬麦区越冬期负积温的时空分布以及越冬期长度年际变化特征,在此基础上以越冬期负积温为指标分析了黄淮冬麦区冬季长寒型冻害时空分布规律,得到以下主要结论:

黄淮冬麦区越冬期负积温绝对值平均为17.3—240.8℃·d,呈南少北多的纬向分布,且近50a呈减少趋势,全区负积温绝对值以1.8—38.3℃·d的速率呈减少趋势,表明冬季温度明显升高,这种变化趋势呈南低北高的空间分布特征;全区越冬期长度呈波动性缩短趋势,研究区域北部地区越冬期较长,总体呈显著缩短趋势,南部地区越冬期较短,且年代际变化不显著,且个别站点个别年份无稳定越冬期,而这些年份多集中在1985年以后。

黄淮冬麦区较轻冻害发生频率较高,为40%以上,且发生频率由北向南逐渐增大,站次比年代间呈增加

趋势;中度冻害和较重冻害频率较低,多数站点在 10% 以下,由北向南逐渐减小,站次比呈减少趋势;严重冻害和极严重冻害频率为 0。总体来看,黄淮冬麦区冬季长寒型冻害风险较小,各站点冻害程度随年代变化逐渐减轻,较轻冻害站点逐渐增多。

4 讨论

气候变暖背景下冬季温度升高明显^[38],随着越冬期负积温绝对值减少^[39-40]和越冬期的缩短^[41-42],冬小麦种植北界呈现不同程度的北移西扩^[43],冬小麦不同冬春性品种的北界也呈北移趋势^[44],许多地区栽培品种发生了改变。黄淮麦区 20 世纪 40 年代种植强冬性品种,20 世纪 60 年代改为冬性品种,70、80 年代则被弱冬性品种取代,进入 21 世纪以来研究区域南部冬小麦品种更是以弱冬偏春性品种为主。种植品种春性化,抗寒性降低^[45],冬小麦冻害时有发生。此外,随着气候变暖,人们往往忽视了小麦冻害影响,冻害防御措施也相对减少^[5]。另外,在全球气候变暖背景下气候波动性增强,极端天气气候事件增多^[46],加之品种选择不得当,冻害发生风险反而增加。因此明确冬季长寒型冻害发生规律,在实际生产中通过品种选择、播期的调整等措施防御冬季长寒型冻害的发生有重要指导意义。

本文选取越冬期负积温为冬小麦冬季长寒型冻害指标,不仅能够表示冬季的寒冷强度,同时也可以表示冬季寒冷强度的累积,能够很好地反映冬小麦越冬期间的低温强度及其持续时间,但是难于反映较短时间极端低温变化。不同冬春性品种小麦之间抗寒能力差异很大,耐低温和负积温的能力不同,所以不同品种发生冻害的负积温指标理论上是有差异的。本文将冬季长寒型冻害划分为 5 个等级,可以根据不同的冻害等级因地制宜,选择适宜的冬春性品种。从本文的分析结果来看,黄淮冬麦区冬季长寒型冻害发生风险较小,在生产中只要避免选用冬性偏弱品种,合理确定播期、播种深度,确保播种质量,可以有效避免冬季长寒型冻害的影响。

从黄淮冬麦区越冬期长度分析结果来看,各省平均越冬期长度最短的年份多发生在 1999 年,且 1999 年无稳定越冬期的站点较其他年份增多,可能的原因是由于 1999 年冬季温度比其他年份相对较高,1991 年和 2007 年无稳定越冬期的站点也相对较多,即这些年份冬季温度也较高,冬小麦无稳定休眠期。王凌^[47]、陈峪^[48]等人的研究表明 1991 年、1995 年、1997 年、1999 年、2002 年和 2007 年为暖冬年,其中 1999 年、2002 年和 2007 年为强暖冬年,这也很好的解释了有些站点这些年份越冬期长度为 0 的原因。在实际生产中,冬季长寒型冻害是否发生除了与冬季低温强度和持续时间有关外,与冬小麦播期、播种质量、冬前苗情、越冬期温度特征等因素也有很大关系。可见,冬小麦冻害是否发生是一个复杂的问题,与气象条件、土壤条件、栽培管理措施等多方面因素有关。本文仅从导致冻害发生的温度致灾因子直接因素出发,基于温度资料,分析了黄淮冬麦区冬季长寒型冻害的时空变化特征,在一定程度上能够表示研究区域冬季长寒型冻害发生特征,可为当地冬小麦品种选择、冬季长寒型冻害防御提供科学参考。而冬季长寒型冻害对产量的影响程度还有待进一步研究。

参考文献 (References):

- [1] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴-2012. 北京: 中国统计出版社, 2012: 475-479.
- [2] 张宇, 王石立, 王馥棠. 气候变化对我国小麦发育及产量可能影响的模拟研究. 应用气象学报, 2000, 11(3): 264-270.
- [3] 郑大玮, 龚绍先, 郑维, 吴锦文, 戚鹤年. 冬小麦冻害及其防御. 北京: 气象出版社, 1985: 3-16, 40-48, 224-227.
- [4] 李茂松, 王道龙, 张强, 迟永刚, 王春艳, 渡边好昭, 吉田久. 2004-2005 年黄淮海地区冬小麦冻害成因分析. 自然灾害学报, 2005, 14(4): 51-55.
- [5] 代立芹, 张文宗. 河北省冬小麦冻害发生规律及影响因子研究. 防灾科技学院学报, 2008, 10(3): 13-17.
- [6] 王夏. 冬小麦低温灾害影响与诊断方法研究 [D]. 北京: 中国农业科学院, 2012.
- [7] 龚绍先, 张林, 顾煜时. 冬小麦越冬冻害的模拟研究. 气象, 1982, (11): 30-32.
- [8] 张养才, 何维勋, 李世奎. 中国农业气象灾害概论. 北京: 气象出版社, 1991: 212-227.
- [9] Fowler D B, Limin A E, Ritchie J T. Low-temperature tolerance in cereals: model and genetic interpretation. Crop Science, 1999, 39(3): 626-633.

- [10] Gusta L V. 用延长冻害试验选择优异抗寒性冬小麦品种. 许智敏, 译. 麦类作物, 1997, 17(6): 18-21.
- [11] 沈雪芳. 新疆冬小麦冻害分区. 新疆农业科学, 1981, (5): 11-14.
- [12] 龚绍先, 郭友三, 蔺三奴, 侯琼. 北方冬小麦越冬冻害的农业气候区划(简报). 北京农业大学学报, 1985, 11(2): 149-152.
- [13] 于玲. 河北省冬麦冻害指标的初步分析. 农业气象, 1982, (4): 65-74.
- [14] 赵玉田, 梁博文. 冬小麦抗冻性鉴定的方法指标及筛选. 中国农业科学, 1987, 20(6): 74-80.
- [15] Cahalan C, Law C N. The genetical control of cold resistance and vernalisation requirement in wheat. Heredity, 1979, 42(2): 125-132.
- [16] Brule-Babel A L, Fowler D B. Genetic control of cold hardiness and vernalization requirement in winter wheat. Crop Science, 1988, 28(6): 879-884.
- [17] 郑殿峰, 王广军, 宫占元, 刘彦坤, 张国军, 于秀玲. 不同播期冬小麦抗寒力的鉴定. 黑龙江八一农垦大学学报, 2000, 12(2): 13-16.
- [18] Minami A, Nagao M, Ikegami K, Koshiba T, Arakawa K, Fujikawa S, Takezawa D. Cold acclimation in bryophytes: low-temperature-induced freezing tolerance in *Physcomitrella patens* is associated with increases in expression levels of stress-related genes but not with increase in level of endogenous abscisic acid. Planta, 2005, 220(3): 414-423.
- [19] Skinner D Z, Garland-Campbell K A. The relationship of LT₅₀ to prolonged freezing survival in winter wheat. Canadian Journal of Plant Science, 2008, 88(5): 885-889.
- [20] 于晶, 张林, 苍晶, 郝再彬, 王多佳. 冬小麦抗寒性的研究进展. 东北农业大学学报, 2008, 39(11): 123-127.
- [21] 曹文昕, 万映秀, 赵斌, 赵莉, 何贤芳, 张平治. 小麦不同生育期抗寒性研究. 安徽农学通报, 2009, 15(17): 57-59.
- [22] 郑大玮, 郑大琼, 刘虎城. 农业减灾实用技术手册. 杭州: 浙江科学技术出版社, 2005.
- [23] 李爱国, 宋晓霞, 吴春西, 齐静娴. 小麦冻害类型及预防补救措施. 现代农业科技, 2011, (7): 188-189, 192-192.
- [24] 莫志鸿, 霍治国, 叶彩华, 吴春艳, 李慧君, 权俊维, 唐广. 北京地区冬小麦越冬冻害的时空分布与气候风险区划. 生态学杂志, 2013, 32(12): 3197-3206.
- [25] 杨邦杰, 王茂新, 裴志远. 冬小麦冻害遥感监测. 农业工程学报, 2002, 18(2): 136-140.
- [26] 巴特尔·巴克, 郑大玮, 肉孜·阿基, 托丽娜·库图鲁克, 郭勇. 北京地区冬小麦冻害预报系统初探. 中国农业气象, 2006, 27(4): 335-338.
- [27] Limin A E, Fowler D B. Low-temperature tolerance and genetic potential in wheat (*Triticum aestivum* L.): response to photoperiod, vernalization, and plant development. Planta, 2006, 224(2): 360-366.
- [28] Feng M C, Yang W D, Cao L L, Ding G W. Monitoring winter wheat freeze injury using multi-temporal MODIS data. Agricultural Sciences in China, 2009, 8(9): 1053-1062.
- [29] 张旭, 杨培珠, 谢虹, 郝学景, 魏春, 蔡淑玲, 马永良. 小麦冻害的预报监测与减灾体系. 农业灾害研究, 2012, 2(5): 17-19.
- [30] Bergjord A K, Bonesmo H, Skjelvåg A O. Modelling the course of frost tolerance in winter wheat I. Model development. European Journal of Agronomy, 2008, 28(3): 321-330.
- [31] 桑建人, 刘玉兰, 韩世涛, 邱旺. 宁夏冬季负积温变化特征. 气象科学, 2007, 27(2): 202-207.
- [32] 全国农业区划委员会. 中国农业自然资源和农业区划. 北京: 农业出版社, 1991: 66-69.
- [33] 庞天荷. 中国气象灾害大典(河南卷). 北京: 气象出版社, 2005: 260-264.
- [34] 王建国, 孙典卿. 中国气象灾害大典(山东卷). 北京: 气象出版社, 2006: 444-457.
- [35] 臧建升. 中国气象灾害大典(河北卷). 北京: 气象出版社, 2008: 216-322.
- [36] 卞光辉. 中国气象灾害大典(江苏卷). 北京: 气象出版社, 2008: 222-228.
- [37] 曲曼丽. 农业气候实习指导. 北京: 北京农业大学出版社, 1991: 1-26.
- [38] 任国玉, 初子莹, 周雅清, 徐铭志, 王颖, 唐国利, 翟盘茂, 邵雪梅, 张爱英, 陈正洪, 郭军, 刘洪滨, 周江兴, 赵宗慈, 张莉, 白虎志, 刘学峰, 唐红玉. 中国气温变化研究最新进展. 气候与环境研究, 2005, 10(4): 701-716.
- [39] 孙兰东, 刘德祥. 西北地区热量资源对气候变化的响应特征. 干旱气象, 2008, 26(1): 8-12.
- [40] 谭方颖, 王建林, 宋迎波, 申双和. 华北平原近 45 年农业气候资源变化特征分析. 中国农业气象, 2009, 30(1): 19-24.
- [41] 李彤霄, 赵国强, 李有. 河南省气候变化及其对冬小麦越冬期的影响. 中国农业气象, 2009, 30(1): 143-146.
- [42] 肖登攀, 陶福禄. 过去 30 年气候变化对华北平原冬小麦物候的影响研究. 中国生态农业学报, 2012, 20(11): 1539-1545.
- [43] Yang X G, Liu Z J, Chen F. The possible effect of climate warming on northern limits of cropping system and crop yield in China. Agricultural Sciences in China, 2011, 10(4): 585-594.
- [44] 李克南, 杨晓光, 慕臣英, 徐华军, 陈阜. 全球气候变暖对中国种植制度可能影响Ⅷ-气候变化对中国冬小麦冬春性品种种植界限的影响. 中国农业科学, 2013, 46(8): 1583-1594.
- [45] 李茂松, 王道龙, 钟秀丽, 王春艳, 苏常红, 赵鹏, 阎旭雨, 渡边好昭, 吉田久. 冬小麦霜冻害研究现状与展望. 自然灾害学报, 2005, 14(4): 72-78.
- [46] 第二次气候变化国家评估报告编写委员会. 第二次气候变化国家评估报告. 北京: 科学出版社, 2011.
- [47] 王凌, 张强, 陈峪, 龚道溢. 1956-2005 年中国暖冬和冬季温度变化. 气候变化研究进展, 2007, 3(1): 26-30.
- [48] 陈峪, 任国玉, 王凌, 邹旭恺, 张强. 近 56 年我国暖冬气候事件变化. 应用气象学报, 2009, 20(5): 539-545.