

气候变暖背景下河北省冬小麦冻害变化分析^{*}

代立芹, 李春强, 姚树然, 张文宗

(河北省气象科学研究所/河北省气象与生态环境重点实验室, 石家庄 050021)

摘要: 利用河北省冬麦区 23 个农气观测站 1981–2007 年冬小麦冻害观测资料和逐日气象资料, 应用数理统计方法, 分析了气候变暖背景下河北省冬小麦冻害发生规律及变化趋势。结果表明: 河北省冬麦区冬季平均气温、小麦越冬期最低气温显著升高; 最低气温出现时过程降温幅度无明显减小趋势; 冬小麦越冬期负积温明显减少。冬小麦冻害发生率自 1986 年起逐渐下降, 1995–2000 年没有冻害出现, 2000 年后中南部地区冻害发生率又呈现上升趋势, 且多以入冬剧烈降温型冻害和融冻型冻害为主。气候变化的不确定性、冷暖交替突变、弱冬性品种小麦的引入、抗寒锻炼时间缩短和强度减弱及栽培管理不当是导致冬小麦冻害发生率回升的重要原因。因此, 虽然气候变暖, 但冬小麦冻害防御仍不容忽视。

关键字: 气候变暖; 冬小麦; 冻害; 河北; 冬麦区

Variation Analysis of Freezing Injury on Winter Wheat under Climate Warming in Hebei Province

DAI Li-qin, LI Chun-qiang, YAO Shu-ran, ZHANG Wen-zong

(Hebei Institute of Meteorological Science/Hebei Province Key Lab for Meteorology and Eco-Environment, Shijiazhuang 050021, China)

Abstract: Based on the observed experimental data of winter wheat and climate data of 23 agro-meteorological stations in Hebei province from 1981 to 2007, the variation and trend of winter wheat freezing injury under global warming was analyzed by statistic method. The results showed that the average temperature in winter and the minimum temperature during winter wheat overwinter time had increased significantly. There was no significant downtrend for the range of temperature dropping process when minimum temperature occurred. The negative accumulated temperature decreased obviously during the over-wintering period. The frequency of freezing injury decreased gradually after 1986, and no freezing injury occurred during 1995–2000. Freezing injury came back again from 2000, and acted as extensive temperature reducing at early winter and thawing-freezing damage. The main reasons of frequency rising in freezing injury were as follows, the uncertainty of climate change, abrupt variation of temperature, introducing of weaker winter wheat variety, acclimation shortening of cold resistance, weakening of its intensity, and unsuitable culture measures. Therefore, the prevention of winter wheat freezing injury should take more attention even under climate warming.

Key words: Climate warming; Winter wheat; Freezing injury; Hebei province; Winter wheat planting region

冻害是指温度下降至 0℃ 以下, 植物内部组织脱水结冰而受害的现象。冻害是北方冬麦区普遍存在的重要灾害, 其对植物的伤害和造成的减产远超过其它各种灾害^[1]。许多学者对冬小麦冻害进行了研究^[2-8]; 冯玉香等^[9]利用人工霜箱控制试验建立了冬小麦拔节后霜冻害与叶温的关系; 杨邦杰等^[10]将冻害前后植被指数 NDVI 突变特征与作物生育期结合,

提出冻害遥感监测方法; 李俊芬等^[11]建立了小麦冻害二级分辨法; 巴特尔等^[12]采用决策树法建立了北京地区冬小麦冻害预报系统; 李茂松等^[13]对 2004/2005 年度黄淮海地区冬小麦冻害成因进行了分析。以往的研究主要侧重于极端天气气候对冬小麦冻害的影响; 21 世纪的研究主要是针对单一冻害的气候特点和冬小麦栽培进行分析。

^{*} 收稿日期: 2009-10-12

基金项目: 河北省科技支撑计划项目“气候变化对河北省粮食安全的影响研究”(09276903D)

作者简介: 代立芹 (1980–), 女, 河北唐山人, 硕士, 工程师, 主要从事农业气象、气候变化和农业气象灾害研究。

E-mail: xiaodai1999@163.com

20 世纪 80 年代以来全球气候明显变暖,但冻害危害并没有减弱。气候变暖致使冬性品种小麦种植比例下降、春性品种种植比例上升,同时暖秋年份增多使小麦抗寒锻炼强度减弱,旺长现象突出,这些因素导致小麦抗寒力下降,而气候变化具有不稳定性,冷暖突变剧烈,极端气候事件增多,因此冻害风险依然存在。如 2004/2005 年度黄淮海麦区、2005/2006 年度河北中南部麦区均发生了大面积冻害。同时随着气候变暖,冻害发生区域、发生时期、类型及诱导因素等都发生了很大改变,以往研究多侧重于冻害发生原因、症状、判别、预测等方面,而对于气候变暖背景下冻害发生规律及其变化趋势的研究相对较少。本文依据 20 世纪 80 年代以来的农业气象观测资料,基于气候变暖的背景特征,从冬小麦生育期内气候变化特征和种植品种的变化分析入手,探讨河北省冬小麦冻害发生规律及其变化趋势,并提出相应的应对措施。旨在为农业生产适应气候变化、确保小麦安全生产提供科学依据。研究结果对于现代农业生产防灾减灾、趋利避害具有现实意义。

1 资料和方法

1.1 资料

选择河北省冬小麦种植区内 23 个农气观测站点(图 1)1981-2007 年观测资料,包括冬小麦全生育期

观测资料(品种、生育期、冬前苗情、冻害发生日期、冻害发生时小麦所处生育期、过程最低气温、降温幅度、积雪厚度、受冻症状、植株受害百分率、死苗率等)和同期气象资料(逐日平均气温、最低气温、地面温度)。

1.2 方法

统计麦区逐月平均气温、逐年冬小麦越冬期最低气温、最低气温出现时降温幅度、越冬期负积温,采用最小二乘法分析各要素变化特征。统计历史冻害年发生冻害的农气站点冬小麦冬前积温、越冬期负积温、越冬期降水量,5 日滑动平均气温稳定通过 0℃ 前后降温幅度,稳定通过 5℃、0℃ 和 -5℃ 的日期,并计算小麦抗寒锻炼天数。依据各类型冻害特点、指标^[1,14],结合冻害观测资料和上述统计要素,判断各站点冻害年冻害类型。分析发生冻害的站点分布区域、逐年发生冻害的站次、冻害发生时间、冻害发生时的小麦生育期等特征及其变化趋势,并从冬小麦品种、气候变化、栽培措施等多方面综合分析其变化原因。冬小麦为跨年度生长作物,本文将收获年度作为其生育年度。

2 结果与分析

2.1 分析期冬小麦种植区的气温变化

2.1.1 月平均气温变化

麦区 1981-2007 年逐月平均气温变化率见表 1。由表中可见,冬小麦生长期内逐月平均气温均呈上升趋势,其中 2、3 月气温升高幅度最大,1 月次之,仅 4 月、10 月气温升高不显著。不同季节增幅不同,其中冬季气温增幅最大,春季和秋季次之,夏季最小。冬小麦生长期(10 月-次年 6 月)气温显著升高。气候变暖为冬小麦生长提供了充足的热量条件,同时使暖秋、暖冬年份增多,春季气候变暖,气温回升加快。

2.1.2 冬小麦越冬期气温变化

2.1.2.1 最低气温和降温幅度

统计麦区 1981-1990、1991-2000、2001-2007 年三个阶段冬小麦越冬期(5 日滑动平均气温稳定通过 0℃ 初日至终日期间)平均最低气温和极端最低气温(表 2),并计算逐年最低气温出现时日平均气温过

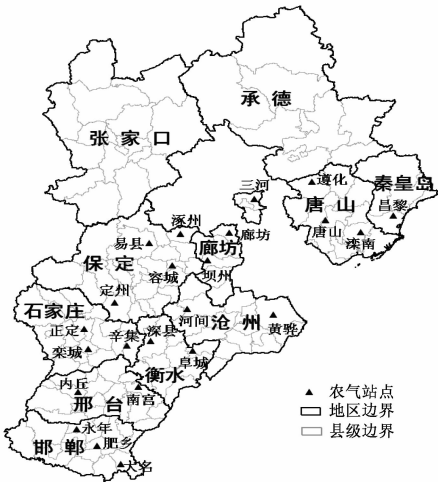


图 1 河北省冬小麦种植区农气站点分布
注:张家口、承德为非冬麦种植区。下同

表 1 冬麦区 1981-2007 年各月平均气温的变化率(℃/10a)

	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月
增温率	0.82 *	1.38 **	1.00 **	0.21	0.53 *	0.42 *	0.41	0.28	0.64 **
	10 月	11 月	12 月	春季	夏季	秋季	冬季	10 月-次年 6 月	
增温率	0.38	0.67 *	0.40 *	0.56 **	0.37 *	0.57 **	0.78 **	0.61 **	

注: *、** 分别表示通过 0.05 和 0.01 水平的显著性检验。下同。

程降温幅度(降温过程最初温度与最低温度之差)(图 2)。表中最低气温为麦区平均状况,首先计算麦区各站点逐年最低气温的平均值作为整个麦区逐年最低气温,再将各年代麦区逐年最低气温平均值作为麦区该年代平均最低气温,该年代中麦区最低气温中的最低值为该年代极端最低气温。

表 2 不同年代冬小麦越冬期平均最低气温和极端最低气温值(℃)		
	平均最低气温	极端最低气温
1981 - 1990	- 16. 5	- 18. 8
1991 - 2000	- 14. 1	- 16. 9
2001 - 2007	- 14. 0	- 18. 0

由表 2 可见,越冬期平均最低气温和极端最低气温均呈波动式上升,20 世纪 90 年代平均最低气温与极端最低气温均比 80 年代明显升高,2001 - 2007 年平均最低气温与 90 年代相比变化不大,但极端最低气温却有所下降。同时最低气温出现时日平均气温的过程降温幅度基本围绕平均值上下波动,减弱趋势不明显,且年际间差异较大(图 2)。所以,当地气候变暖的特点是平均气温显著升高,而最低气温为 90 年代较 80 年代显著升高、随后变化不大,最低气温出现时温度波动强度没有减弱,且年际间差异较大,因此冬小麦受低温冻害的隐患依然存在。

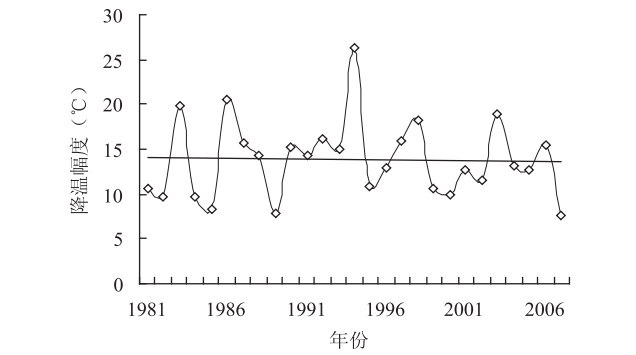


图 2 最低气温出现时日平均气温过程降温幅度

2. 1. 2. 2 负积温

利用冬小麦生育期资料和气象资料,计算得到历年冬小麦越冬期负积温,见图 3。由图 3 可见,分析期内,冬小麦越冬期负积温呈明显减少趋势($P < 0.01$),但年际间差异较大,高值年与低值年交错,2000 年后相邻年份负积温差异加大,这说明气候变暖具有波动性、不稳定性。

2. 2 分析期内冬小麦种植区小麦品种的变化

整理麦区 23 个农气站点 1981 - 1990、1991 - 2000、2001 - 2007 年不同年代种植不同小麦品种(冬

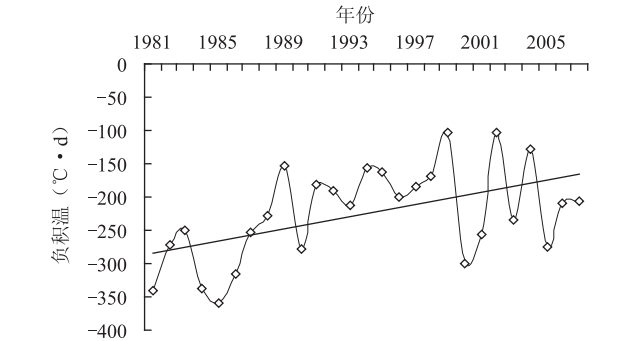


图 3 越冬期负积温变化曲线

性、半冬性、弱冬性)所占的比例,见图 4。结果表明,唐山、秦皇岛、廊坊、保定北部、沧州、衡水东北部麦区种植的小麦品种一直以冬性为主;其它麦区以冬性和半冬性品种为主,而且随着气候变暖,种植半冬性品种的年份逐渐增多,比例上升,种植冬性品种的年份逐渐减少,比例下降,南部邢台、邯郸部分麦区逐渐种植弱冬性品种。总之,北部麦区以及中部的沧州、衡水东北部种植冬性品种,其它麦区由种植冬性品种逐渐转为种植半冬性品种,局部种植弱冬性品种,这与河北省热量分布状况一致,其中沧州和衡水东北部虽处于中部地区,但由于地形原因,冬季温度较低,品种仍以冬性为主。



图 4 冬麦区 1981 - 1990、1991 - 2000、2001 - 2007 年三个时段各农气站点种植的冬小麦品种比例
注:饼中不同灰度面积代表了不同小麦品种所占比例的大小;三个饼对应年份从左到右依次为 1981 - 1990、1991 - 2000、2001 - 2007 年

2. 3 分析期内冬小麦种植区小麦冻害变化及其原因分析

2. 3. 1 冻害发生频率变化

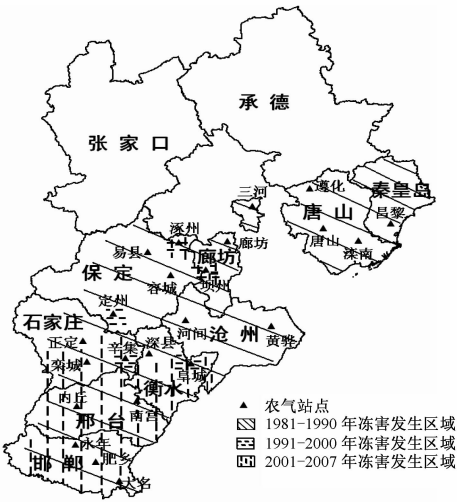
冬小麦一般冻害表现为叶片受冻,黄白干枯,但主茎和分蘖没有冻死;冻害严重时主茎和大分蘖受冻,幼穗失水萎蔫甚至死亡。当出现寒潮天气或气温

冷暖变化异常、长期低温等可能诱发冻害的不利天气条件时,农气站点即开始密切观察小麦性状,由于冻害症状的显现常存在滞后现象,因此一般持续监测,直到受害症状变化稳定为止。受害程度依据小麦外部形态、心叶和分蘖节剖面颜色、生长锥状况进行判断,一般以植株上部 2~3 片叶的叶尖或不足 1/2 叶片受

冻,植株受害率达 5% 以上时即认为发生了轻微冻害。根据冻害观测和调查资料,整理麦区逐年发生冻害的农气站点站次,若一个站点一年发生两次冻害,则站次为 2(见表 3)。不同年代冻害分布区域不同,1981-1990、1991-2000、2001-2007 年三个时段冻害分布区域见图 5。

表 3 1981-2007 年逐年发生冻害的站次

	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994
站次	10	1	0	9	6	1	2	4	1	1	2	1	1	2
	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	
站次	0	0	0	0	0	0	1	1	1	3	7	11	0	



品种气候适应性发生了变化,品种抗寒性减弱;暖秋年份增多导致小麦抗寒锻炼时间缩短、强度降低;冬前热量增加,部分地区由于播期不当旺长现象突出。以上多种原因导致小麦抗寒能力低、耐温变能力差,虽然冬季平均气温升高,但冷暖交替剧烈,因此,近年来河北省中南部地区冻害发生率增加。

2.3.2 冻害类型变化

冬小麦冻害从成因上可以分为冬前过旺型、入冬剧烈降温型、冬季长寒型、旱冻交加型、融冻型等几类^[1]。冬前过旺型冻害指由于小麦冬前生长过旺,体内营养物质消耗较多,生育进程超前导致抗寒力低,遇到不太低的低温时发生的冻害现象。入冬剧烈降温型指麦苗停止生长前后因气温骤然大幅度下降而发生的冻害,常导致小麦抗寒锻炼不足,越冬能力明显下降,若抗寒锻炼极差即使冬季偏暖也会发生冻害。冬季长寒型冻害指冬季持续严寒使麦苗大量冻死冻伤,主要以冬季负积温、有害积温、极端最低温及强烈低温出现天数作为指标。旱冻型冻害指冬季少雪多风,越冬期间干土层厚,坷拉和裂缝多,促使冻害发生并加剧冻害危害。融冻型冻害指小麦越冬休眠期或未完全解除休眠状态时遇气温回暖萌动生长,抗寒力明显下降后,再遇强冷空气袭击时,在常规测定的该品种临界致死温度以上的较高低温下即受冻死亡的现象,在越冬早期或冬末春初易发生此类冻害。

根据各类型冻害特点、指标及历史冻害年观测资料、气象要素(冻害发生时期、症状、过程降温幅度、最低气温、低温持续时间、小麦冬前积温、冬前苗情等),归纳分析河北省冬麦区主要冻害类型及冻害年各站点发生的冻害类型。整理 1981-1990、1991-2000、2001-2007 年不同年代不同类型冻害发生的站次占该年代发生冻害总站次的比例,见图 6。

图 5 冬麦区 1981-1990、1991-2000、2001-2007 年三个时段冻害发生的区域分布

由表 3 和图 5 可见,1990 年之前冻害发生区域比较分散,麦区大部站点均有冻害发生,其中 1981-1985 年冻害发生率相对较高,1986 年以后河北省出现持续暖冬,冬小麦冻害发生率逐渐下降。1991-2000 年,仅个别站点出现冻害,主要分布在麦区的中部地区,且据调查冻害多以叶片受冻为主,受冻程度较轻,其中 1995-2000 年冻害发生率达到最低值,观测站点没有发生冻害。2000 年以后冻害发生率出现增加趋势,发生区域主要集中在石家庄及以南地区,据调查 2004/2005 年度发生严重冻害面积在 3 万 hm² 以上,主要集中在邯郸地区,分蘖节全部或大部冻死,2005/2006 年度冻害以叶片受冻为主,局部地区主茎或分蘖节冻死,主要分布在石家庄以南地区。

据调查分析表明,近年来冻害发生主要与弱冬性品种的引入、抗寒锻炼不足、气温冷暖突变以及不恰当的栽培措施等因素有关。由于气候变暖,河北省中南部部分麦区引进弱冬性品种,同时暖冬气候使小麦

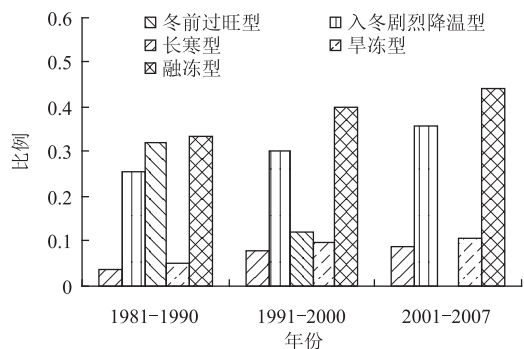


图6 1981-2007年分阶段统计的麦区冻害类型所占比例

由图6可知,随着气候变暖,暖冬年份增多,长寒型冻害发生率逐渐减少,2000年以后观测站点无长寒型冻害发生;初冬和早春由于气温冷暖交替剧烈导致的入冬剧烈降温型和融冻型冻害发生率增多,逐渐成为主要冻害类型;暖秋年份增多,由于播种期不当冬前旺长现象突出,导致冬前旺长型冻害增加;同时冬季气温升高促使土壤水分蒸发,致使干旱与冻害并发现象增多。

2.3.3 冻害发生时间变化

冬小麦冻害主要发生在越冬初期、中期、末期、返青-拔节期,随着气候变暖,冻害发生时小麦所处生育阶段发生了改变。根据冻害资料与冬小麦发育期资料,统计了1981-2007年不同年代冻害发生时小麦所处各发育阶段的次数占此年代发生冻害总次数的比例(图7)。结果表明,1990年之前冻害发生在越冬中期的较多,1990年以后,发生在越冬中期的冻害次数逐渐减少,而发生在越冬初期、末期、返青-拔节期的次数逐渐增加。1981-1990年冻害主要发生在越冬中期;1991-2000年冻害多发生在越冬中期和返青萌动期;2000年以后以发生在越冬末期和越冬初期为主,萌动返青期次之,发生在越冬中期的次数很少。

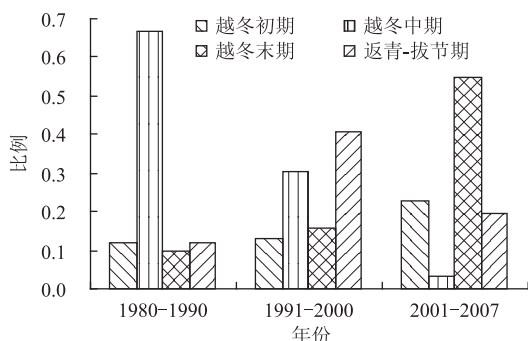


图7 1981-2007年分阶段统计的冻害发生时所处小麦生育期所占比例

3 结论与讨论

气候变暖,冬小麦越冬期平均气温显著升高,负积温明显减少,但越冬期最低气温在2000年后无明显升

高趋势,最低气温出现时降温幅度无明显减弱趋势。

随着气候变暖,冬小麦冻害发生率于1986年出现下降趋势,1995-2000年为最低,但2000年后中南部地区冻害发生率又回升。随着气候变暖,发生在严冬期的冻害次数减少,发生在初冬和早春的次数逐渐增多,长寒型冻害逐渐减少,融冻型和入冬剧烈降温型冻害增加,同时早冻型和冬前旺长型冻害也逐渐增多。

可见,虽然气候变暖但冻害危害依然存在,冻害类型、分布、发生期、诱因等都随气候变化发生了改变。气候变化的波动性、不稳定性、冷暖交替突变、弱冬性品种的引入、抗寒锻炼时间缩短和强度减弱、栽培管理不当是导致冬小麦冻害发生率回升的重要原因。根据冻害发生原因及变化规律,冬小麦冻害防御应采取合理布局小麦品种、调整小麦适播期、浇好冬前封冻水、加强田间管理、提高冻害预警能力等综合措施。

参考文献:

- [1] 郑大玮,郑大琰,刘虎城. 农业减灾实用技术手册[M]. 浙江:浙江科学技术出版社,2005:24-27,100.
- [2] 李茂松,王道龙,钟秀丽,等. 冬小麦霜冻害研究现状与展望[J]. 自然灾害学报,2005,14(4):72-78.
- [3] 钟秀丽. 近20年来霜冻害的发生与防御研究进展[J]. 中国农业气象,2003,24(1):4-6.
- [4] 徐祥德,王馥棠,萧永生,等. 农业气象防灾调控工程与技术系统[M]. 北京:气象出版社,2002:60-85.
- [5] 易燕明,苏志,李秀存. 广西冬季冻害发生规律及影响因子研究[J]. 灾害学,2002,3(17):48-53.
- [6] 王永华,李金才,魏凤珍,等. 小麦冻害类型与小麦受冻致死原因分析[J]. 安徽农业科学,2006,34(12):2789-2791.
- [7] 魏凤珍,李金才,王永华,等. 小麦抗寒性的影响因素及小麦冻害的防御与补救措施[J]. 安徽农业科学,2006,34(10):2078-2080.
- [8] 高阳华,唐云辉,冉荣生,等. 重庆市冻害的发生分布规律研究[J]. 西南农业大学学报,2003,25(1):80-83.
- [9] 冯玉香,何维勋,饶敏杰,等. 冬小麦拔节后霜冻害与叶温的关系[J]. 作物学报,2000,26(6):707-712.
- [10] 杨邦杰,王茂新,裴志远. 冬小麦冻害遥感监测[J]. 农业工程学报,2002,2(18):136-140.
- [11] 李俊芬,臧新洲. 小麦越冬冻害的二级评价方法[J]. 河南气象,2004,(2):38.
- [12] 巴特儿·巴克,郑大玮,肉孜·阿基,等. 北京地区冬小麦冻害预报系统初探[J]. 中国农业气象,2006,27(4):335-338.
- [13] 李茂松,张强,王道龙,等. 2004-2005年黄淮海地区冬小麦冻害成因分析[J]. 自然灾害学报,2005,14(4):51-55.
- [14] 闫宜玲,林艳,孙桂顺. 河北省农业气象实用手册[M]. 北京:气象出版社,1995:36-40.