华北冬小麦开花及成熟期变化特征分析

邱美娟,刘建栋*,邬定荣,刘 玲,王治海
(中国气象科学研究院生态环境与农业气象研究所, 北京 100081)

摘 要: 利用华北平原 59 个农业气象观测站 1981—2010 年冬小麦生育期资料,分析了该区域冬小麦在气候变暖背景下开花期和成熟期的变化趋势特征。研究结果表明:近 30 年来,华北平原冬小麦开花期和成熟期均发生了明显变化。相对 1980s 而言,1990s 开花期普遍提前 2~5 d,成熟期提前 1~6 d 左右,2000s 开花期则一般提前 3~9 d,成熟期提前 1~7 d 左右。因此,随着年代推进,华北平原冬小麦开花期和成熟期提前趋势在进一步加剧。相对 1980s 而言,1990s 生育期等值线普遍北移,而 2000s 等值线进一步北移的趋势更加明显。研究发现,3—5 月月平均气温升高是开花期和成熟期提前的一个重要影响因素。

关键词: 冬小麦;气候变化;开花期;成熟期;华北平原
中图分类号: S512.1+1; S162.5 **文献标志码**: A **文章编号**: 1000-7601(2014)03-0250-06

Characteristics of variations in growth stages of winter wheat in North China Plain

QIU Mei-juan, LIU Jian-dong*, WU Ding-rong, LIU Ling, WANG Zhi-hai
(*Chinese Academy of Meteorological Sciences*, *Beijing* 100081, *China*)

Abstract: Based on observation data of 59 agro-meteorological stations in North China Plain during 1981—2010, response of flowering and maturity stage of winter wheat to global warming was investigated. The results showed that there exits marked variation in the flowering and maturity stage of winter wheat in North China Plain during the observation years. In Comparison with 1980s, the flowering date of 1990's had been moved up by 2~5 days, and the maturity date 1~6 days in advance. For 2000s, the flowering date was 3~9 days in advance, maturity date 1~7 days. Therefore, there is an increasing trend that both the flowering and maturity dates had been moved up, partially associated with the average monthly temperature from March to May.

Keywords: winter wheat; climate changes; flowering stages; maturity stage; North China Plain

以气候变暖为主要特征的全球气候变化已经成为目前科学界的一个不争事实[1],其不仅直接影响到大气环流及气候异常,而且对作物生长发育及产量形成均具有重要影响[2]。有研究表明[3-4],作物生育期的气温每升高 1℃,冬小麦的生育期将缩短 17 d,水稻生育期将缩短 7~8 d,使作物光合作用干物质积累的时间缩短。因此,开展气候变暖背景下作物生育期的变化趋势研究成为重要的研究课题。

近几十年来,在气候变化的大背景下,作物生育期的变化特征引起国内外学者的广泛关注,众多学者对此进行了大量研究[5-11]。国外研究指出[12-13],德国大田作物温度每升高 1℃,物候期提前约 4 d 左右;气候变暖使西班牙 Granada 省 1989—2006 年间黑麦的开花期平均提前 16 d。国内相关研究表明[14],由于全球气候变暖,多种作物生育期已经呈不同程度的缩短趋势,其中,1961—2007 年间,中国冬小麦全生育期平均缩短 2.2 d,北方冬麦区缩短 3.0 d,南方麦区缩短 1.9 d。开花期和成熟期均为冬小麦生长发育过程中的重要生育期,开花期直接影响到冬小麦结实,进而影响到最终产量形成。而成熟期则与冬小麦的收获密切相关,直接影响到冬小麦的抢收作业。姬兴杰等[15-20]开展不同地区的相关研究表明,随着温度的升高,北方冬麦区冬小麦春季各发育期整体均表现出提前趋势,其中

收稿日期:2013-11-11
基金项目:国家科技部公益性行业(气象)科研专项(GYHY201206022);国家科技部公益性行业科研专项(GYHY201106030)
作者简介:邱美娟(1987—),女,辽宁大连人,硕士生,研究方向为农业气象灾害数值分析。E-mail:qmjcams@163.com。
* **通信作者**:刘建栋(1969—),男,河北辛集人,研究员,主要从事农业气象数值模拟及分析。E-mail: Liujd2001@263.net。

开花期和成熟期提前趋势显著,并且通过分时间段对河北省冬小麦生育期变化研究表明,20 世纪 90 年代比 80 年代成熟期普遍提前。前人的研究多在一个较长的时间序列上从整体上对作物生育期的长期变化趋势进行系统分析,所得出的结论基本一致,即随着全球气候不断变暖,冬小麦开花期和成熟期均普遍呈提前趋势。气候变暖是冬小麦生育期变化的主要驱动因子。其研究结果对农业生产具有重要的科学指导意义。然而,气候变化背景下,华北冬小麦开花和成熟期近 10 年来的变化趋势及其加剧/减弱特征则鲜见报道。

华北平原是我国重要的冬小麦主产区[21],同时也是我国典型的干旱半干旱地区之一,由于受季风气候影响,气象灾害发生频繁[22],特别是气候变暖背景下,该区气象灾害发生频率有进一步增加的趋势[23]。因此,对该地区冬小麦主要生育期,特别是开花期和成熟期展开趋势分析研究,对于区域农业应对气候变化,最大程度地趋利避害,实现区域可持续发展具有重要的科学和实际意义。

本文利用华北平原 59 个农业气象观测站的 1981—2010 年冬小麦生育期资料,对 2000s 与 1980s、以及 1990s 与 1980s 的生育期的变化趋势特征进行了对比分析,进一步研究了华北冬小麦开花期及成熟期的变化状况,以期揭示近 10 年来华北冬小麦开花期和成熟期的变化趋势特征,并对其变化的影响因素进行了分析。

1　资料和方法

1.1　资料选取

我国农业气象冬小麦生育期资料全面采集工作始于 1981 年,在综合考虑数据的连续性、准确性和完整性的基础上,本研究对华北平原所有农业气象观测站冬小麦生育期资料进行了系统筛选,建立了 59 个农业气象观测站 1981—2010 年共 30 a 冬小麦开花期及成熟期相关资料数据库,所选农业气象观测站点基本覆盖了整个华北平原。

1.2　资料处理

采用一元线性回归方法分别对 59 个农业气象观测站点冬小麦开花及成熟期随年份的长期变化趋势进行分析研究;并借助地理信息系统软件 ArcGIS 对华北平原 1980s、1990s 和 2000s 冬小麦开花及成熟期的变化趋势特征进行空间系统表达,研究不同年代冬小麦开花期和成熟期变化的差异。应用数理统计方法分析小麦生育期的变化与月平均气温的关系。

2　结果与分析

2.1　华北平原冬小麦开花期变化特征

从华北平原冬小麦 1981 年以来开花期总体变化趋势来看,除了汤阴冬小麦开花期呈推迟趋势,但未通过 0.05 水平的显著性检验,推迟趋势不明显,其它站点的冬小麦开花期均呈提前趋势,部分站点提前趋势通过 0.05 水平的显著性检验。通过查河南省农业气象月报,汤阴 2010 年冬小麦冬后生育期间由于气温偏低、光照不足,使各生育期推迟。因此,可能影响整个时间序列的总体趋势。为了进一步分析气候变化对冬小麦开花期变化的影响,对开花期分年代段进行对比分析,通过统计分析表明,华北平原冬小麦 1980s 平均开花期为 5 月 7 日,1990s 平均开花期为 5 月 4 日,2000s 平均开花期为 5 月 2 日。由此初步可以看出,整体上,近 10 年来华北平原平均开花期明显提前,并且呈加剧趋势。

从各农业气象观测站点看,1990s 与 1980s 冬小麦平均开花期相比,肥乡无明显变化,潍坊和临汾均推迟 1 d,其它站点均呈提前趋势,最多提前 10 d,多数站点提前 2 ~ 5 d。从这两个时期平均开花期的等值线的变化情况上看(图 1a),所有等值线均呈北移趋势。在华北平原的西部地区,除了 4 月 30 日等值线和 5 月 15 日等值线北移幅度较大,其它等值线北移不明显。而在中部和东部地区,所有等值线均表现为明显的北移趋势。4 月 30 日等值线由原来的商丘 – 太康 – 襄城 – 巩义 – 伊川一线北移至菏泽 – 新乡 – 临猗 – 芮城一线。5 月 5 日和 5 月 10 日等值线在东部地区北移 1 ~ 2 个纬度左右。5 月 15 日等值线已经北移到研究区域以外。

2000s 与 1980s 冬小麦平均开花期相比,除了汤阴无明显变化,华北平原其它站点冬小麦开花期均呈提前趋势,最多提前 13 d,多数站点提前 3 ~ 9 d。从这两个时期平均开花期的等值线的变化情况上看(图 1b),与 1980s 相比,2000s 冬小麦开花期等值线在整个华北平原均呈北移趋势。西部地区北移较小,北移 0.5 个纬度左右,而中部和东部地区北移较大,北移 1 ~ 3 个纬度左右。4 月 30 日等值线整体上均北移明显。5 月 5 日等值线原来贯穿肥乡 – 新乡 – 临猗 – 芮城,现在北迁至淄博 – 深县 – 林州 – 临汾以北。5 月 10 日等值线原来贯穿潍坊 – 栾城 – 晋城 – 临汾,现在北迁至宝坻 – 涿州一线和长治 – 安泽一线。5 月 15 日等值线已经北移到研究区域以外。

对华北平原冬小麦开花期年代际的变化特征的

对比分析可以看出(图 1),相对 1980s 而言,1990s 和 2000s 有少数地区冬小麦开花期推迟或无变化,而大多数地区呈明显提前趋势,并且 2000s 冬小麦开花期提前趋势明显加剧(图 1c)。

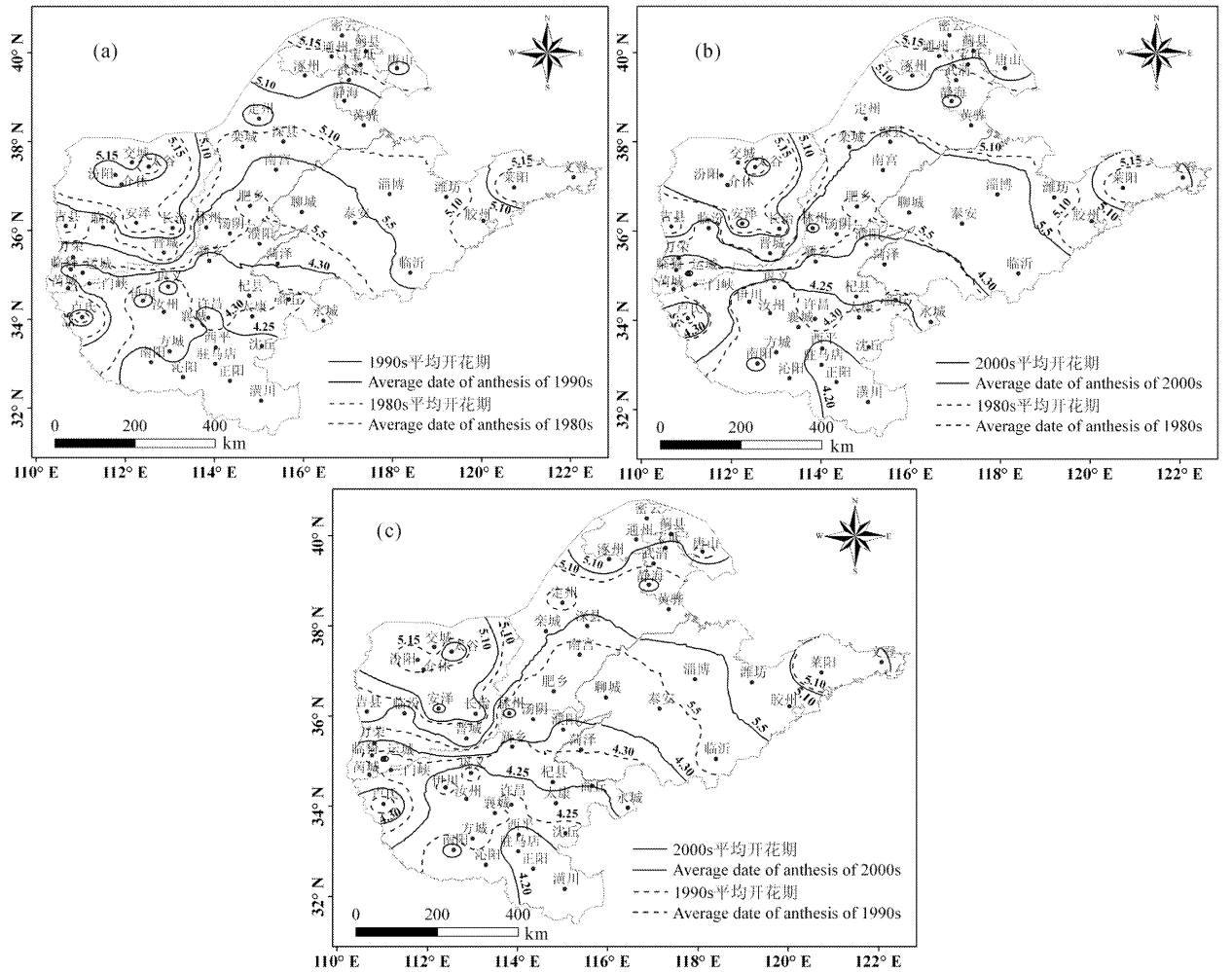

图 1 华北地区冬小麦开花期变化特征

Fig.1 Variations of date of anthesis of winter wheat in North China Plain

注:(a) 1990s 年与 1980s 对比;(b) 2000s 与 1980s 对比;(c) 2000s 与 1990s 对比。

Note: (a) comparisons between 1990s and 1980s; (b) comparisons between 2000s and 1980s; (c) comparisons between 2000s and 1990s.

2.2 华北平原冬小麦成熟期变化特征

对华北平原冬小麦 1981 年以来成熟期的总体变化趋势分析得到,除了华北平原的东北部少部分地区的成熟期呈推迟趋势,但未通过 0.05 水平的显著性检验,其它地区的冬小麦成熟期均呈提前趋势,且部分通过 0.05 水平的显著性检验。通过进一步按年代分析表明,华北平原冬小麦 1980s 平均成熟期为 6 月 9 日,1990s 平均成熟期为 6 月 7 日,2000s 平均成熟期为 6 月 6 日。初步可以看出,整体上,近 10 年来华北平原冬小麦平均成熟期呈提前趋势,并且呈加剧趋势。

从各农业气象观测观测站点看,1990s 与 1980s 冬小麦平均成熟期相比,华北中部及周边的濮阳、晋城等 9 个站点无明显变化,有 7 个站点呈推迟趋势,其中,除了武清和太谷推迟 2 d,其余几个站点均推迟 1 d。而其它站点成熟期均呈提前趋势,最多提前 7 d,多数站点提前 1~6 d 左右。从这两个时期平均成熟期的等值线的变化情况看(图 2a),除了 6 月 10 日等值线在定州附近有一小部分地区表现为略微南移以外,其它等值线几乎全部北移。5 月 31 日等值线北移较明显,大约北移 1~2 个纬度左右。其它等值线一般北移 0.5 个纬度左右。

2000s 与 1980s 冬小麦平均成熟期相比,聊城、定州、涿州、深县及汝州成熟期无明显变化,武清推迟 4 d,汤阴推迟 3 d,太谷、栾城均推迟 1 d。其它各站点均呈提前趋势,一般提前 1~7 d,提前最多的是蓟县,提前 11 d,伊川次之,提前 10 d。从这两个时期平均成熟期的等值线的变化情况上看(图 2b),相

比 1980s 而言,2000s 冬小麦成熟期大部分地区均呈北移趋势,北移 0.5~1 个纬度左右。

对华北平原冬小麦成熟期年代际的变化特征的对比分析可以看出(图 2),相对于 1980s 而言,1990s 和 2000s 少数地区冬小麦成熟期推迟或无变化,而大多数地区呈提前趋势。并且,2000s 冬小麦成熟期提前趋势明显加剧(图 2c)。

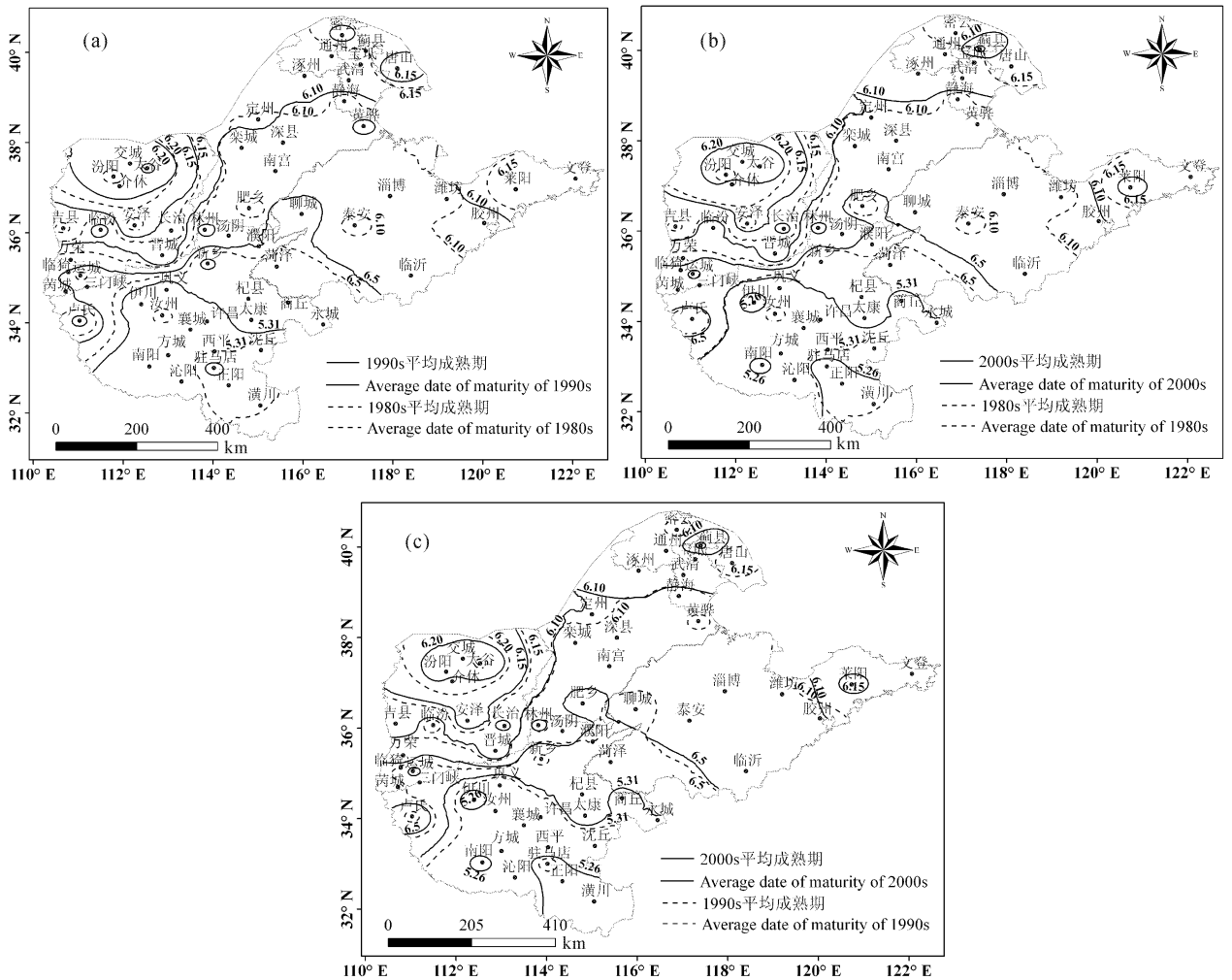

图 2　华北地区冬小麦成熟期变化特征

Fig.2　Variations of date of maturity of winter wheat in North China Plain

注:(a) 1990s 年与 1980s 对比;(b) 2000s 与 1980s 对比;(c) 2000s 与 1990s 对比。

Note: (a) comparisons between 1990s and 1980s; (b) comparisons between 2000s and 1980s; (c) comparisons between 2000s and 1990s.

2.3　气温对开花期及成熟期变化的影响

通过对 59 个农业气象观测站过去 30 a 冬小麦开花期与 3 月、4 月平均气温,成熟期与 4 月、5 月平均气温进行相关分析发现,冬小麦开花期与 3 月、4 月平均气温呈显著负相关关系(图 3),成熟期与 4 月、5 月平均温度呈显著负相关关系(图 4)。即月平均气温越高,开花期和成熟期越早。3 月和 4 月平均气温升高 1℃,开花期分别提前 3.2 d 和 3.9 d。4 月和 5 月平均气温升高 1℃,成熟期分别提前 3.7 d 和 3.5 d。由此可见,月平均气温是影响冬小麦开花期和成熟期变化的一个重要因素。

作物生理学研究表明,作物生育期的提前或延迟与积温密切相关[24-25],一般而言,月平均气温增加导致积温增加,从而可能会引起作物相应的生育期提前。华北平原冬小麦一般 5 月初开花,6 月初成熟,3—4 月份月平均气温升高,可能导致返青至开花期间的积温增加,进而较早地达到了开花所需的温度条件,导致开花期提前;同样,4—5 月份月平均气温增加也会导致成熟期提前。因此,随着华北平原普遍的增温[19],冬小麦开花期和成熟期普遍提前,生育期界线发生北移。

但是,在区域月平均气温增加的同时,也不能排除冬小麦品种特性以及生育期间出现的异常气候现象,如干旱、极端低温天气等的影响。冬小麦生育期

间如受到异常低温天气的影响,生育期也会推迟。通过查历史作物报表资料知道,聊城 1984 年种植的原丰 4 号品种是春性品种,因此返青较晚,进而可能导致其后各生育期也相应偏晚。而潍坊 1996 年由于受霜冻和干旱的影响,导致其开花期和成熟期均推迟。另外,某一年份生育期的异常大幅度变化可能主导着整个时间序列生育期的变化趋势,如汤阴站在 2010 年由于受气候影响,各个生育期推迟较明显,因而可能导致整体的变化呈推迟趋势。

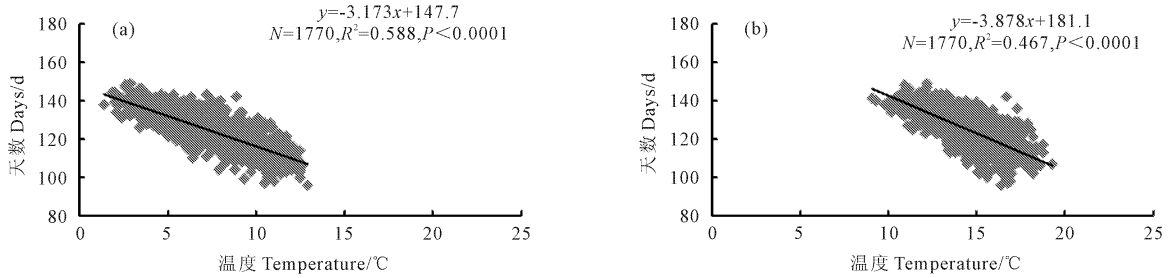

图 3 华北平原冬小麦开花期与 3 月平均气温(a)和 4 月平均气温(b)的相关关系

Fig.3 Relationship between flowering date and average temperature of March (a) and April (b) in North China Plain

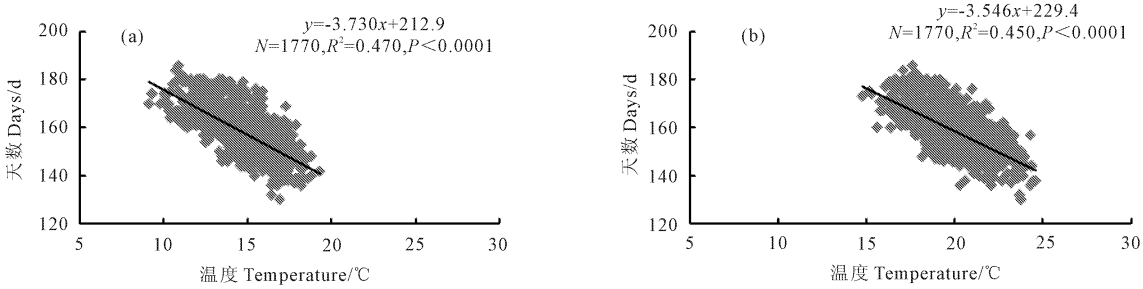

图 4 华北平原冬小麦成熟期与 4 月平均气温(a)和 5 月平均气温(b)的相关关系

Fig.4 Relationship between maturity date and average temperature of April (a) and May (b) in North China Plain

3 结 论

全球气候变暖背景下华北冬小麦的开花期和成熟期均发生了明显变化。开花期多数站点呈提前趋势,只有汤阴呈推迟趋势。从开花期的年代际变化情况看,相比于 1980s 而言,在 1990s 有个别站点开花期呈推迟趋势或者无明显变化,多数站点呈提前趋势,一般提前 2~5 d,等值线北移;而在 2000s,除了汤阴无明显变化外,其它站点均呈明显的提前趋势,一般提前 3~9 d,等值线北移趋势明显加剧。对冬小麦成熟期的变化趋势分析发现,大多数站点成熟期呈提前趋势。从成熟期的年代际变化情况看,相比于 1980s 而言,1990s 和 2000s 均有部分站点的成熟期表现为推迟趋势,但推迟天数较小,大多数站点呈提前趋势,一般提前天数分别为 1~6 d 和 1~7 d 左右,等值线北移趋势较小,但 2000s 等值线北移趋势相对较明显。因此,随着年代推进,华北平原冬小麦开花期和成熟期提前趋势在进一步加剧。通过相关分析和回归分析发现,3—4 月、4—5 月的月平均气温分别是开花期和成熟期提前的一个重要影响因素。3 月和 4 月平均气温升高 1℃,开花期分别提前 3.2 d 和 3.9 d。4 月和 5 月平均气温升高 1℃,成熟期分别提前 3.7 d 和 3.5 d。另外,品种变化以及异常天气现象也对开花期和成熟期有影响。

整体而言,华北平原冬小麦开花期和成熟期随着气候变暖均呈提前趋势,这与全国冬小麦生育期对气候变暖的响应规律相一致[26-27],并且本文研究说明 21 世纪近 10 年来开花期和成熟期的这种提前趋势在进一步加剧。从实际生产上看,气候变暖导致的冬小麦开花和成熟期提前,在一定程度上可以避免初夏高温对冬小麦生产的影响。开花期对冬小麦的结实至关重要,而冬小麦成熟期与收获期密切相关,对抓住有利时机及时抢收小麦以及麦收作业顺利开展等具有重要意义。

参 考 文 献:

[1] 高茂盛,范建忠,吴清丽,等.全球气候变化背景下渭北旱原气候变化及气候生产力研究[J].干旱地区农业研究,2012,30(4):

198-183.
[2] 邓振镛,王　强,张　强,等.中国北方气候暖干化对粮食作物的影响及应对措施[J].生态学报,2010,30(22):6278-6288.
[3] 王修兰.二氧化碳、气候变化与农业[M].北京:气象出版社,1996.
[4] 高辉明,张正斌,徐　萍,等.2001—2009 年中国北部冬小麦生育期和产量变化[J]. 中国农业科学,2013,46(11):2201-2210.
[5] Tao F L, Yokozawa M, Xu Y L, et al. Climate changes and trends in phenology and yields of field crops in China, 1981—2000[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2006,138:82-92.
[6] Daniel R, Chavas R, Csar I, et al. Long term climate change impacts on agricultural productivity in eastern China[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2009,149:1118-1128.
[7] 杨建莹,梅旭荣,刘　勤,等.气候变化背景下华北地区冬小麦生育期的变化特征[J].植物生态学报,2011,35(6):623-631.
[8] Tao Fulu, Zhang Shuai, Zhang Zhao. Spatiotemporal changes of wheat phenology in China under the effects of temperature, day length and cultivar thermal characteristics[J]. European Journal of Agronomy, 2012,43:201-212.
[9] Xiao Dengpan, Tao Fulu, Liu Yujie, et al. Observed changes in winter wheat phenology in the North China Plain for 1981—2009[J]. Int J Biometeorol, 2013,57:275-285.
[10] 姬兴杰,朱业星,刘霄迎,等.气候变化对北方冬麦区冬小麦生育期的影响[J].中国农业气象,2011,3(4):576-581.
[11] 余卫东,赵国强,陈怀亮.气候变化对河南省主要农作物生育期的影响[J].中国农业气象,2007,28(1):9-12.
[12] Estrella N, Sparks T H, Menzel A. Trends and temperature response in the phenology of crops in Germany[J]. Global Change Biology, 2007,13:1737-1747.
[13] Garcia-Mozo H, Mestre A, Galan C. Phenological trends in southern Spain: A response to climate change[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2010,150:575-580.
[14] 王　斌,顾蕴倩,刘　雪,等.中国冬小麦种植区光热资源及其配比的时空演变特征分析[J].中国农业科学,2012,45(2):228-238.
[15] 姬兴杰,朱业星,刘霄迎,等.气候变化对北方冬麦区冬小麦生育期的影响[J].中国农业气象,2011,3(4):576-581.
[16] 余卫东,赵国强,陈怀亮.气候变化对河南省主要农作物生育期的影响[J].中国农业气象,2007,28(1):9-12.
[17] 杜　莉,李　燕,王志伟.我国西北冬小麦生长发育对气候变化相应分析[J].山西农业科学,2011,39(8):872-876.
[18] 陈书涛,王让会,许遐祯,等.气温及降水变化对江苏省典型农业区冬小麦、水稻生育期的影响[J].中国农业气象,2011,2(2):235-239.
[19] 段金省.气候变暖对陇东塬区冬小麦成熟期的影响与适宜收获期预报[J].干旱地区农业研究,2007,25(1):158-161.
[20] 谷永利,林　艳,李元华.气温变化对河北省冬小麦主要发育期的影响分析[J].干旱区资源与环境,2007,21(12):141-145.
[21] 曹　倩,姚凤梅,林而达,等.近 50 年冬小麦主产区农业气候资源变化特征分析[J].中国农业气象,2011,32(2):161-166.
[22] 张文宗,赵春雷,康西言,等.河北省冬小麦旱灾风险评估和区划方法研究[J].干旱地区农业研究,2009,27(2):10-16.
[23] 谭方颖,王建林,宋迎波.华北平原气候变暖对气象灾害发生趋势的影响[J].自然灾害学报,2010,19(5):125-131.
[24] 王　力,李凤霞,徐维新,等.气候变化对柴达木灌区小麦生育期的影响[J].中国农业气象,2010,209(3):356-362.
[25] Porter J R, Gawith M. Temperatures and the growth and development of wheat: a review[J]. European Journal of Agronomy, 1999,10(1):23-36.
[26] 张明捷,王运行,赵桂芳,等.濮阳冬小麦生育期气候变化及其对小麦产量的影响[J].中国农业气象,2009,30(2):223-229.
[27] 万　信,王润元.气候变化对陇东冬小麦生态影响特征研究[J].干旱地区农业研究,2007,25(4):80-84.

(上接第 224 页)

[10] 李新国,樊自立,李会志,等.开都河下游灌区土壤盐渍化特征分析[J].干旱地区农业研究,2011,29(2):147-158.
[11] 李新国,樊自立,李会志,等.开都河下游灌区土壤盐渍化动态变化研究[J].水土保持研究,2011,18(3):64-72.
[12] 张建平.博斯腾湖流域生态环境现状及治理对策浅析[J].环境科技,2010,23(增刊 2):76-79.
[13] 兰文辉,阿比提,安海燕.新疆博斯腾湖流域水环境保护与治理[J].湖泊科学,2003,15(2):148-152.
[14] 张　飞,塔西甫拉提·特依拜,孔祥德.干旱区绿洲土地利用景观空间格局动态变化研究——以渭干河—库车河三角洲绿洲为例[J].资源科学,2006,28(6):167-174.
[15] 董新光,弥爱娟,吴永光.四水平衡模型在博斯腾湖流域水资源利用与保护中的应用[J].资源科学,2005,27(3):131-134.
[16] 张　俊,周成虎,李建新.新疆焉耆盆地近 40 年土地利用与土地覆被演化[J].资源科学,2004,26(6):30-37.
[17] 王水献,董新光,刘延峰.焉耆盆地绿洲区近 50 年地下水文时空变异及水盐演变[J].地质科技情报,2009,28(5):101-108.
[18] 鲁如坤.土壤农业化学分析方法[M].北京:中国农业科技出版社,2000.
[19] 徐建华.现代地理学中的数学方法[M].北京:高等教育出版社,2002:30-35.
[20] 王耿明,姜琦刚,高永志,等.松辽平原土壤盐渍化现状及盐分特征分析[J].水土保持研究,2008,15(3):105-111.
[21] 卢　磊,乔　木,周生斌.新疆渭干河流域土壤盐渍化及其驱动力分析[J].农业现代化研究,2011,32(3):357-361.
[22] 刘延锋,靳孟贵,金英春.焉耆盆地土壤盐渍化状况的主成分分析[J].干旱地区农业研究,2004,22(1):165-171.
[23] 马兴旺,朱靖蓉,李保国.绿洲土地利用对地下水矿化度时空变化影响的定量评估[J].自然资源学报,2009,24(3):466-475.
[24] 何贵平,陈益泰,黄一青,等.杭州湾海涂造林后土壤盐分和水分动态变化[J].林业科学研究,2006,19(2):257-260.