

陇东半干旱地区冬季积温变化特征及其对冬小麦的影响

郭海瑛^{1,2},王胜²,王娟²,李岩²,宋亚男²

(¹中国气象局兰州干旱气象研究所/甘肃省干旱气候变化与减灾重点实验室/

中国气象局干旱气候变化与减灾重点实验室,兰州 730020;²甘肃环县气象局,甘肃庆阳 745000)

摘要:为了解陇东半干旱地区环县冬季积温变化特征及其对冬小麦的影响,通过 Mann-Kendall 统计检验法、Pearson 相关分析法等手段对冬季积温以及冬小麦发育期资料进行分析研究。结果表明:(1)陇东 1981—2016 年冬季积温的变化过程中呈现出逐年上升趋势;Mann-Kendall 突变检验发现,1990 年为冬季积温突变的年份;Morlet 小波变换分析得到在 30~35 年上冬季积温呈现出最为显著的周期变化规律;(2)通过对冬小麦发育期特征分析,发现冬小麦除了在分蘖期表现为推迟的状况,其他播种、出苗、三叶、越冬等发育期均表现为提前的变化特征;对冬小麦发育期与积温进行相关分析,相关系数均为负相关,表明大多数发育期提前 1~5 天;在冬季积温偏高的年份,冬小麦各发育期普遍提前 4~14 天;(3)对冬小麦物候间隔期的特征进行分析发现,冬小麦在播种—出苗、播种—分蘖、播种—越冬、播种—返青以及播种—抽穗期,间隔时间呈现出延长的变化特征;在播种—三叶、播种—起身、播种—拔节、播种—开花、播种—成熟期,间隔时间呈现出缩短的变化特征。

关键词:半干旱地区;冬季积温;冬小麦;特征分析

中图分类号:P49

文献标志码:A

论文编号:casb17090074

Variation of Winter Accumulated Temperature and Its Influence on Winter Wheat in the Semi-arid Region of Longdong

Guo Haiying^{1,2}, Wang Sheng², Wang Juan², Li Yan², Song Yanan²

(*Institute of Arid Meteorology of China Meteorological Administration/ Key Laboratory of Arid Climatic Change and Disaster Reduction of CMA/ Key Laboratory of Arid Climatic Change and Reducing Disaster of Gansu Province, Lanzhou 730020;*

²Bureau of Meteorology in Huan County, Qingyang Gansu 745000)

Abstract: To study the variation of winter accumulated temperature in semi-arid area of Longdong and its influence on winter wheat, by means of Mann-Kendall statistical test and Pearson correlation analysis, the winter accumulated temperature and the development period of winter wheat were analyzed. The results showed that: (1) the winter accumulated temperature had a rising trend year by year in the past 36 years; Mann-Kendall mutation test indicated that 1990 was the mutation year of winter accumulated temperature; Morlet wavelet analysis indicated that the winter accumulated temperature had a most significant periodic variation of 30–35 years; (2) by analyzing the developmental characteristics of winter wheat, we found that the development of winter wheat was delayed in tillering stage, while that of other stages, like sowing, seedling, trefoil, overwintering, etc. were ahead of schedule; the correlation analysis of winter wheat development period and accumulated temperature showed that the correlation coefficient was negative, indicating that most of the development stages were advanced by 1–5 days; in the year with higher winter temperature, the winter wheat development stages were generally ahead by 4–14 days; (3) characteristics analysis of phenology interval showed that in the stage of sowing to seedling, sowing to tillering, sowing to over wintering, sowing to re-greening and sowing to heading, the phenology interval was prolonged; while in the stage of sowing to trefoil, sowing to heading, sowing to jointing, sowing to flowering and sowing to maturity, the phenology interval was shortened.

Key words: semi-arid area; winter accumulated temperature; winter wheat; characteristic analysis

基金项目:甘肃省气象局“青年科技人才”项目(甘气函(2016)217号)。

第一作者简介:郭海瑛,女,1986年出生,工程师,本科,主要从事地面测报、天气预报、农业气象以及相关的科研工作。通信地址:745700 甘肃省庆阳市环县滨河路 甘肃省环县气象局,E-mail:308434829@qq.com。

通讯作者:王胜,男,1987年出生,工程师,研究生,主要从事地面测报、天气预报、农业气象以及相关的科研工作。通信地址:745700 甘肃省庆阳市环县滨河路 甘肃省环县气象局,E-mail:mmpyb8@163.com。

收稿日期:2017-09-13,修回日期:2017-12-21。

0 引言

全球气候变暖,物候也随之发生变化,而且物候变化是植物对全球气候变暖最敏感的反应,是一个可以直接观察到的重要指标,并且植物物候也是季节节奏宏观、综合的体现,其变化特征反映了过去一段时间气候条件的积累对植物生长、发育的综合影响。国内专家对此进行了较多的研究。刘英等^[1]分析了气候变化对冬小麦植物干重、生长率、叶面积、千粒重、产量的影响;李向东等^[2]研究得到,越冬前增加积温在越冬前对幼穗发育进程有一定影响,对拔节期幼穗发育进程和育性影响明显;周忠文等^[3]得到气候变化引起冬小麦播种期和越冬开始期推迟,返青、拔节、抽穗、成熟期提前;李巧云等^[4]对冬前积温为350~900℃/d范围内的小麦冬前生长发育进行了分析;尹钧^[5]明确了小麦春化和光周期发育规律和不同生态区品种发育类型;王媛媛^[6]发现,近30年来主要农作物的生长发育受温度、降水和光照的共同作用,每10年冬小麦播种期推后2~3天,返青期提前4天的结论;张佩等^[7-13]从气候资源的变化对冬小麦的影响做了相应的分析、研究;康西言等^[14-17]建立了相关模型,得到光照和水分因子不是冬小麦发育速率的限制条件,温度因子是影响冬小麦发育速率的主导因子;吕莉莉等^[18-21]研究了在气候变暖的气候背景之下,冬小麦发育期所表现出的特征。

小麦是最重要的商品粮和战略安全储备粮,环县被农业部确定为“全国粮食生产先进县”,冬小麦也是当地最为重要的粮食作物。

温度是影响植物生长及地理分布的重要气象因子,而冬季积温与作物的关系密切,其是表征霜期农业生产热量资源重要的农业气候生态指标,一个地区冬季积温的高低,直接关系到当地农作物能否安全越冬。

作者试图通过研究环县冬季积温对冬小麦发育期的影响,找到冬小麦发育期的变化规律,以期对县内制定农业气候区划提供科学的依据。

1 材料与方法

1.1 资料来源

环县位于甘肃东部、庆阳市西北部,地处毛乌素沙漠边缘的丘陵沟壑区,山大沟深,地形复杂,冬季(12月至次年2月中旬),低温严寒,晴天多。本文利用环县国家基本气象站1981—2016年冬季月平均气温、冬季积温资料以及1981—2016年冬小麦不同发育期资料,进行分析研究。12月—次年2月为冬季,3—5月为春季,6—8月为夏季,9—11月为秋季。

1.2 方法介绍

1.2.1 一元线性回归分析 气象要素x的长期变化趋势采用一元线性回归方程分析,如(1)所示。

$$x=a+bt \dots\dots\dots (1)$$

式(1)中,t为时间序列(t=1,2,⋯,n);a为常数;b为回归系数,当b为正时,表示要素在计算时段内线性增加,当b为负时,表示要素在计算时段内线性减弱;b×10称为气候倾向率,其单位为某要素单位/10 a。根据气候气象率可以得到冬季积温在所研究时间段内的变化趋势。

1.2.2 Mann-Kendell 统计检验方法 Mann-Kendell 统计检验方法是非参数方法。其优点是不需要样本遵从一定的分布,也不受少数异常值的干扰,更适用于类型变量和顺序变量,计算也比较简便。通过对冬季积温进行计算,可明确冬季积温突变开始的时间,并能够划分突变区域。

1.2.3 Pearson 相关分析法、SPSS 曲线拟合法 通过曲线拟合的方式找到作物发育期与冬季积温之间的关联,期待找出冬小麦发育期在气候变暖情况下的变化规律。

2 冬季积温变化特征

2.1 年际变化

图1为1981—2016年环县36年冬季积温随时间的变化曲线图。通过对曲线变化的分析来看,冬季积温序列的线性倾向率为32.16℃/10 a,可见冬季积温在36年的变化过程中呈现出逐年上升趋势,这一变化要高于年平均气温升高速率。冬季积温最大值、最小值分别出现在2008年为-583.2℃(2008年出现历史罕见的全国性低温雨雪冰冻灾害)及2002年为-191.5℃,两者相差391.7℃;积温增速最快的时段主要集中在1985—1987年以及2008—2009年之间,在1987—2006年之间积温表现为增加—减少的周期性波动。

2.2 突变性检验

利用Mann-Kendall 突变检验法,对环县36年冬季积温序列做突变性检测。图2所体现的突变检验结果进行分析,可得到如下结论:UB、UF 2条曲线在1989年之后的时间段内基本为正值,表明该时间段内冬季积温处在增加的时期;UB与UF曲线在1981—2016年

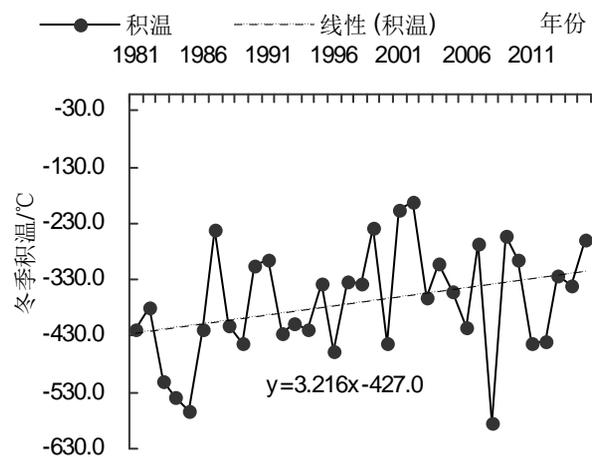


图1 1981—2016年冬季积温变化图

之间先后有过2次较明显的相交,分别出现在1990年和2012年,可以看到2条曲线在1990年相交之后UF曲线由负值转为正值并最终超出了0.05的显著性水平($u_{0.05}=1.96$),也就是说通过了信度为0.05的显著性检验,充分说明1990年为冬季积温突变的年份,反之2条曲线在2012年相交之后,没有展现出显著的变化特征,因此该点不是突变点。

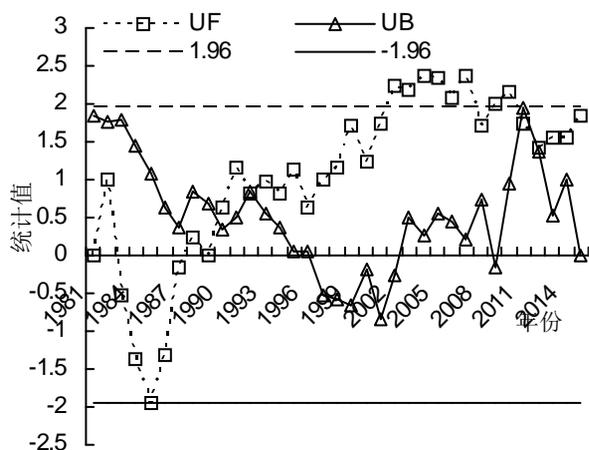


图2 冬季积温 Mann-Kendall 突变检验

2.3 多尺度变换分析

图3给出的是1981—2016年环县冬季积温 Morlet 小波变换规律。可以明显看出冬季积温在36年的变化当中,存在不同时间尺度的结构。在中尺度存在10~15年左右的周期,这种规律贯穿整个所分析的时间段,且冬季积温变化表现为3个偏多期和3个偏少期。其中,1987—1992、1998—2005、2011—2016年为偏多期,1981—1987、1992—1998、2005—2011年为偏少期;大尺度30~35年上冬季积温呈现出最为显著的周期变化规律,1990年之前、2009年之后,冬季积温表现为偏少期,而在1990—2009年之间的时间段,冬季积温表现为偏多期。

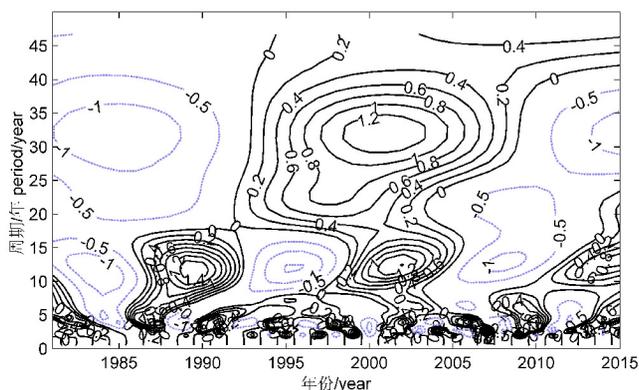


图3 冬季积温小波分析

图4是环县冬季积温小波方差,该图存在3个比较明显的波峰,分别是年的周期、10~15年的周期、30~35

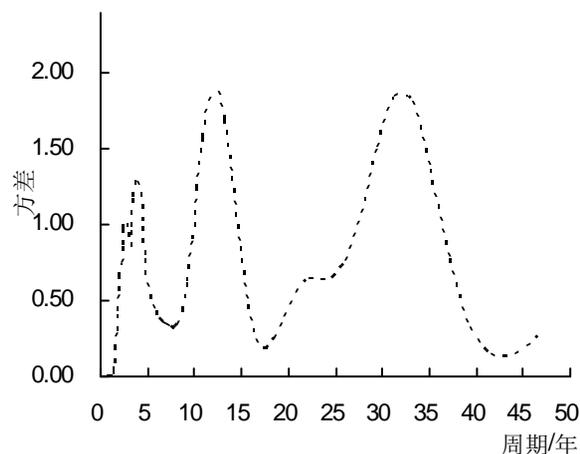


图4 冬季积温小波方差

年的周期,充分表明冬季积温变化存在于这3个周期之上。3个时间尺度当中,冬季积温在5年尺度上的振动能量最小,在10~15、30~35年的周期上峰值显著,可以认为30~35年是该序列变化的第一主导周期,而10~15、5年依次为第二和第三主导周期,这一结论与图3当中对应曲线所表现出的特征完全一致。

3 冬小麦发育期与积温的关系

3.1 发育期变化特征

表1给出的是冬小麦在各个发育期随时间变化的线性方程及相关分析。从表中可知冬小麦除了在分蘖期表现为推迟的状况(推迟速率为1.6天/10 a),其他播种、出苗、三叶、越冬、返青、起身、拔节、孕穗、抽穗、开花、成熟期均表现为提前的变化特征,这些发育期提前速率依次为3.4、3.7、1.4、2.1、0.3、3.2、3.0、2.9、1.4、2.6、3.4天/10 a。从季节的角度来看,冬小麦秋季初期和夏季物候期提前较为显著,在秋季末期变化趋势不显著。

3.2 相关性分析

相关性分析是找到两者之间关系的重要方法。利用环县1981—2016年冬季积温与冬小麦的各发育期计算出它们之间的相关系数如表2。可以看到表中所列出的相关系数均为负相关,也就是说,当冬季积温升高的时候,冬小麦发育期除去越冬期没有通过相关性检验外,其他发育期均表现出提前的特征,反之表现为推迟的变化特征。由两者的相关性分析得知,趋势倾向率在-0.1~-0.6之间,即冬季积温每增加10℃,各发育期将会相应的提前1~5天。

发育期当中随冬季积温变化最明显的是起身-0.623,其后依次是拔节-0.591、开花-0.544、孕穗-0.542、抽穗-0.496,通过了0.001的相关性检验;而返青-0.346、成熟-0.349通过了0.01的相关性检验;越冬-0.125没有通过相关性检验。因环县地处陇东半干旱区最北部,冬季较为寒冷,造成冬小麦的发育期对冬季积温的

表1 环县冬小麦物候期变化的线性方程

物候	线性方程	相关系数	决定系数	物候	线性方程	相关系数	决定系数
播种	$y=-0.34x+88.96$	0.056	0.003	起身	$y=-0.32x+653.08^*$	0.423	0.179
出苗	$y=-0.37x+105.89$	0.044	0.002	拔节	$y=-0.30x+636.692^*$	0.354	0.125
三叶	$y=-0.14x+309.63$	0.131	0.017	孕穗	$y=-0.29x+603.39^*$	0.445	0.207
分蘖	$y=0.16x-284.19$	0.134	0.018	抽穗	$y=-0.14x+297.14$	0.234	0.055
越冬	$y=-0.21x+447.48$	0.264	0.067	开花	$y=-0.26x+543.62^*$	0.345	0.119
返青	$y=-0.03x+82.98$	0.042	0.002	成熟	$y=-0.34x+698.11^*$	0.529	0.280

注:*表示通过0.05水平的显著性检验。

表2 环县冬小麦物候期与冬季积温的相关性

发育期	越冬	返青	起身	拔节
冬季积温	-0.125	-0.346*	-0.623**	-0.591**
发育期	孕穗	抽穗	开花	成熟
冬季积温	-0.542**	-0.496**	-0.544**	-0.349*

注:*代表通过0.01的相关性检验,**代表通过0.001的相关性检验。

反映也不敏感,而且冬季积温对冬小麦发育期的影响具有一定的滞后性。总之,冬季积温对冬小麦各发育期的影响具有较大的差异。

3.3 典型年份冬小麦发育期分析

上述分析是对冬季积温与冬小麦不同发育期平均状态做的线性相关分析,找到了两者之间的某种关系,免不了忽略特殊气候变化下冬季积温对冬小麦的影响。下面从所研究的36年之中挑选出冬季积温偏高的年份(2002、2001、1999、1987、2009年)、偏低的年份(2008、1985、1984、1983、1996年),对其做针对性的分析。

通过对冬季积温典型年份与冬小麦不同发育期(表3)分析,在冬季积温偏高年份较之偏低年份,冬小麦的各发育期普遍提前4~14天,其中开花期提前日数最多14天,其后依次是起身期与拔节期13天,再次是

分蘖期和抽穗期的11天,只有在越冬期两者基本持平。

从相关性分析以及挑取典型年份的分析来看,冬季积温对于冬小麦不同的发育期具有重要的影响,表现为:冬季积温高的时候,冬小麦发育期普遍表现为推迟的特征;冬季积温低的时候,发育期又呈现出普遍推迟的状态。

3.4 冬小麦物候间隔期的特征分析

冬小麦在不同的发育期由于受到该时间段内的气象条件的影响较大,最直接的影响是发育期的间隔时间发生了变化,这就会最终影响冬小麦的生长快慢,而反之通过冬小麦的生长快慢同样可以对当地气候的变化进行分析。表4选择冬小麦播种期至其他10个发育期的间隔时间为研究对象。可以看到,冬小麦在播种一出苗、播种一分蘖、播种一越冬、播种一返青以及播种一抽穗期,间隔时间呈现出延长的变化特征,变化速率最大的是播种一越冬期的3.86天/10a,最小的播种一出苗为0.35天/10a,而其他的变化速率在0.45~2.83之间;冬小麦在播种一三叶、播种一起身、播种一拔节、播种一开花、播种一成熟期,间隔时间呈现出缩短的变化特征,变化速率在0.18~2.21/10a之间。从总体上来说,

表3 环县冬小麦典型年份物候期与冬季积温的相关性

项目	典型年	三叶	分蘖	越冬	返青	起身	拔节	孕穗	抽穗	开花	成熟	发育期
冬季温高年	2002	11-8	11-28	3-10	4-1	4-18	5-14	5-18	5-23	6-28	11-8	276
	2001	11-8	11-16	3-16	4-4	4-28	5-16	5-21	5-24	6-22	11-8	274
	1999	10-24	12-3	3-28	4-14	4-26	5-6	5-16	5-17	6-21	10-24	259
	1987	10-23	11-27	3-8	4-11	4-25	5-9	5-16	5-21	6-27	10-23	263
	2009	10-16	11-24	3-26	4-12	4-26	5-10	5-18	5-20	6-18	10-16	278
	平均	10-22	10-28	11-25	3-17	4-8	4-24	5-11	5-17	5-21	6-23	270
冬季温低年	2008	11-20	11-28	3-18	4-10	4-28	5-12	5-22	5-24	6-18	11-20	276
	1995	11-14	12-5	3-28	4-19	4-28	5-18	5-25	5-28	6-26	11-14	263
	1984	11-7	11-22	3-17	4-26	5-8	5-19	5-26	6-1	6-30	11-7	276
	1983	10-15	11-18	4-4	4-29	5-18	5-27	6-4	6-11	7-10	10-15	291
	1996	11-19	11-19	4-1	4-23	5-14	5-26	6-3	6-20	7-9	11-19	300
	平均	10-26	11-8	11-24	3-26	4-21	5-7	5-20	5-28	6-4	6-30	281
提前天数/d		4	11	-1	9	13	13	9	11	14	7	11

表4 环县冬小麦播种至其他发育期间隔及其变化分析

项目	播种一出苗	播种—三叶	播种—分蘖	播种—越冬	播种—返青
发育期间隔/d	9	29	38	62	179
趋势/(d/10 a)	0.35	-0.18	2.83	3.86	0.95
项目	播种一起身	播种—拔节	播种—抽穗	播种—开花	播种—成熟
发育期间隔/d	204	220	226	231	261
趋势/(d/10 a)	-2.21	-1.10	0.45	-0.79	-1.17

气温升高的时间段内,冬小麦发育期间隔时间总体表现为缩短,由于目前气候逐年变暖,越冬时间也在不断推迟,从而造成了越冬时间不断增长;冬小麦从返青期后,随着气温逐步回升,在营养生长期表现为发育期时间缩短的幅度减小,这将会使冬小麦发育的养分供应不足,产量降低,在生殖生育期间隔时间在缩短,同样不利于冬小麦生长、果实的积累。

4 结论与讨论

(1)环县通过对1981—2016年36年冬季积温曲线变化的分析来看,冬季积温在36年的变化过程中呈现出逐年上升趋势,这一变化要高于年平均气温升高速率;对36年冬季积温序列做Mann-Kendall突变检验发现,1990年为冬季积温突变的年份;Morlet小波变换分析了环县36年冬季积温变化规律得到:在大尺度30~35年上冬季积温呈现出最为显著的周期变化规律,冬季积温小波方差图给出30~35年是该序列变化的第一主导周期。

(2)对冬小麦发育期特征做分析,发现冬小麦除了在分蘖期表现为推迟的状况,其他播种、出苗、三叶、越冬等发育期均表现为提前的变化特征;对冬小麦发育期与积温进行相关分析,相关系数均为负相关,即冬季积温每增加10℃,除去越冬期,其他发育期提前1~5天。这是因环县地处陇东半干旱区最北部,冬季较为寒冷,造成冬小麦的发育期对冬季积温的反映也不敏感,冬季积温对冬小麦发育期的影响存在滞后性。

(3)对冬季积温典型年份与冬小麦不同发育期做分析,在冬季积温偏高的年份,冬小麦各发育期普遍提前4~14天,只有在越冬期两者基本持平。

(4)对冬小麦物候间隔期的特征进行研究发现,冬小麦在播种一出苗、播种—分蘖、播种—越冬、播种—返青以及播种—抽穗期,间隔时间呈现出延长的变化特征;冬小麦在播种—三叶、播种一起身、播种—拔节、播种—开花、播种—成熟期,间隔时间呈现出缩短的变化特征。气温升高的时间段内,冬小麦发育期间隔时间总体表现为缩短,从返青期后,随着气温逐步回升,在营养生长期表现为发育期时间缩短的幅度减小,这将会使冬小麦发育的养分供应不足、产量降低,生殖生育期间隔时间在缩短,同样不利于冬小麦生长、果实的积累。

参考文献

- [1] 刘英,周忠文,昔小丽,等.陇东塬区冬小麦生长量对气候变化的响应[J].中国农学通报,2014,30(27):169-174.
- [2] 李向东,张德奇,王汉芳,等.越冬前增温对小麦生长发育和产量的影响[J].应用生态学报,2015,26(3):839-846.
- [3] 周忠文,刘英,张谋草,等.气候变化对陇东塬区冬小麦生长的影响分析[J].中国农学通报,2014,30(24):87-92.
- [4] 李巧云,年力,刘万代,等.冬前积温对河南省小麦冬前生长发育的影响[J].中国农业气象,2010,31(4):563-569.
- [5] 尹钧.小麦温光发育研究进展 I.春化和光周期发育规律[J].麦类作物学报,2016,36(6):681-688.
- [6] 王媛媛.近50年陇东地区农业气候资源的时空变化特征及其对主要农作物的影响分析[D].兰州:西北师范大学,2013.
- [7] 张佩,谢小萍,姚薇,等.气候变化背景下江苏省冬小麦发育期对冬季积温的响应[J].中国农学通报,2014,30(29):210-216.
- [8] 张谋草,赵满来,张红妮,等.气候变化对陇东塬区冬小麦生长发育及产量的影响[J].干旱地区农业研究,2005,23(5):232-235.
- [9] 杨洪宾,李春光,徐成忠,等.济宁市秋冬积温变迁及其对冬小麦生长的影响[J].中国农业气象,2008,9(1):20-22.
- [10] 董旭光,李胜利,石振彬,等.近50年山东省农业气候资源变化特征[J].应用生态学报,2015,26(1):269-277.
- [11] 商兆堂,何浪,商舜,等.江苏省冬小麦生长期间的气候特征[J].江苏农业科学,2015,43(3):56-62.
- [12] 曹寒,吴淑芳,冯浩,等.不同覆膜种植对土壤水热和冬小麦产量的影响[J].水土保持研究,2015,22(6):110-115.
- [13] 王春玲,申双和,王润元,等.中原地区地温对冬小麦发育期、生长量和产量的影响[J].干旱气象,2012,30(1):66-70.
- [14] 康西言,董航宇,姚树然.基于气象因子的冬小麦发育期预报模型[J].中国农业气象,2015,36(4):465-471.
- [15] 贺丹.积温与春小麦群体生长动态、灌浆特性及产量形成关系的研究[D].哈尔滨:东北农业大学,2015.
- [16] 高苹,张佩,谢小萍,等.基于海温和环流特征量的江苏省小麦适播期预测[J].气象,2012,38(12):1572-1578.
- [17] 于彩霞,霍治国,黄大鹏,等.基于大尺度因子的小麦白粉病长期预测模型[J].生态学杂志,2015,34(3):703-711.
- [18] 吕莉莉,赵国良,高强,等.气候变暖对天水市冬小麦生长的影响[J].西北农林科技大学学报:自然科学版,2014,42(2):46-52.
- [19] 谭凯炎,郭定荣,赵花荣.气候变暖背景下华北平原冬小麦生育期温度条件变化趋势分析[J].中国农业气象,2017,38(6):333-341.
- [20] 孙倩,黄耀,姬兴杰,等.气候变化背景下河南省冬小麦品种更新特征[J].气候变化研究进展,2014,10(4):282-288.
- [21] 王建源,叶文,李曼华,等.气候变化背景下山东省冬小麦发育期的变化特征[J].中国农学通报,2013(14):161-166.