

网络出版时间:2014-01-02 15:56

DOI:10.13207/j.cnki.jnwfufu.2014.02.041

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/doi/10.13207/j.cnki.jnwfufu.2014.02.041.html>

气候变暖对天水市冬小麦生长的影响

吕莉莉,赵国良,高 强,宋建荣,岳维云

(天水市农业科学研究所,甘肃 天水 741001)

【摘 要】 【目的】分析气候变暖对天水市冬小麦生育期的影响,以揭示小麦对气候变暖的响应,为探讨当地小麦的适宜播种期和小麦作物带的变迁以及种植业结构调整和粮食安全生产提供理论依据。【方法】利用甘肃省天水市的相关气象资料(气温、负积温、地温),结合天水市农业科学研究所 1979—2007 年的小麦生育期资料,应用 DPS 软件,建立小麦生育期与气温的回归模拟方程,探讨小麦生育期与气温的关系及变化趋势。【结果】天水市平均气温、四季平均气温、地温均呈现上升趋势,负积温绝对值呈减少趋势。平均气温、负积温、平均地温与小麦全生育期均呈负相关关系,出苗—拔节期与冬季、春季平均气温呈负相关关系。1979—2007 年,随着冬小麦全生育期平均气温的升高,天水冬小麦对气候变暖的响应主要表现为拔节期、抽穗期、成熟期缩短,其中拔节期、抽穗期、成熟期分别缩短了 4.261,2.759,4.811 d/10 年;气温升高使出苗—拔节期、抽穗—成熟期缩短,拔节—抽穗期延长。【结论】气候变暖已对天水市冬小麦的生长发育产生了较大影响,冬小麦全生育期缩短趋势明显。

【关键词】 气候变暖;平均气温;地温;冬小麦;生育期;天水市

【中图分类号】 S162.5⁺3

【文献标志码】 A

【文章编号】 1671-9387(2014)02-0046-07

Effects of climate warming on winter wheat growth in Tianshui City

LÜ Li-li, ZHAO Guo-liang, GAO Qiang, SONG Jian-rong, YUE Wei-yun

(Institute of Agriculture Sciences of Tianshui, Tianshui, Gansu 741001, China)

Abstract: 【Objective】 This study analyzed the effects of climate warming on the growth of winter wheat in Tianshui City to reveal the response of winter wheat to climate warming and explore the suitable sowing period for local winter wheat and changes in winter wheat belt. It could also improve planting structure adjustment and food security. 【Method】 Using meteorological data in Tianshui City, Gansu Province (annual mean temperature, negative accumulated temperature, and ground temperature), and winter wheat growth data from the Institute of Agriculture Sciences of Tianshu in 1979—2007, the equation of relationship between wheat growth period and temperature was regressed with DPS software. 【Result】 Annual average temperature, average temperature, and ground temperature increased while absolute value of negative accumulated temperature decreased from 1979 to 2007. Annual mean temperature, negative accumulated temperature, and the average temperature were negatively correlated with growth period of winter wheat, and average temperatures in winter and spring were negatively related to seeding-shooting period. As the increase of average temperature during growth of winter wheat since 1979, climate warming decreased the durations of shooting stage, spiking stage, and maturity stage shortened by 4.261, 2.759, and 4.811 d/10a, respectively. Seeding—shooting period and spiking—maturity period were shortened as well while shooting—spiking period was extended. 【Conclusion】 Climate warming significantly reduced the growth

〔收稿日期〕 2012-11-05

〔基金项目〕 甘肃省自然科学基金项目(1107RJZE260)

〔作者简介〕 吕莉莉(1978—),女,甘肃天水人,农艺师,主要从事小麦作物育种及栽培研究。

〔通信作者〕 赵国良(1974—),男,甘肃天水人,副研究员,主要从事作物育种及栽培研究。E-mail:zhaog1871@yeah.net

period of winter wheat in Tianshui.

Key words: climatic warming; average temperature; ground temperature; winter wheat; growth stage; Tianshui City

政府间气候变化专门委员会(IPCC)2001 年第 3 次科学评估报告指出,近百年全球平均气温大约上升了 $0.6\text{ }^{\circ}\text{C}$,我国年平均气温以 $0.04\text{ }^{\circ}\text{C}/10$ 年的倾向率上升^[1]。IPCC 预测,如果不控制温室气体的排放,到 21 世纪末,全球平均气温在 1999 年的基线上将再上升 $1.1\sim 6.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ^[2]。在我国西北、华北和东北地区气候变暖最明显,其中西北地区(陕西、甘肃、宁夏、新疆)变暖的强度高于全国平均值^[3]。据研究,西北气候变暖使作物生长期延长,冬播期有所推迟,春播期也较过去提前,种植制度发生变化^[4]。在我国长江以北地区,作物生长季开始的日期提早,生长季终止的日期延后,使潜在生长期延长^[5]。中纬度和高原地区主要粮食作物发育期缩短^[6]。甘肃雨养农业区的气候变化呈现暖干化趋势,区域增温达 $0.99\sim 1.4\text{ }^{\circ}\text{C}$,增温非常明显;但气候的暖干化趋势对秋粮增产不利,气候波动剧烈的地区秋粮生产脆弱度大,强脆弱区主要集中在陇东东部及天水北部地区^[7]。在气候变暖背景下,地处半干旱和半湿润气候过渡带的甘肃省天水市区域气候对全球气候变化的响应比较明显。特别是进入 21 世纪,气温变暖趋势非常明显,40 年间各地平均气温距平上升了 $0.7\sim 1.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ^[8],其对农业生产产生了不可忽视的影响^[8-10]。以往对气候变暖研究虽然较多,但针对天水市区域主要作物关于气候变暖的响应的研究较少。此外,相关研究多采用当地当家品种^[9]而未考虑品种的影响^[11]。本研究利用甘肃天水市的相关气象资料及小麦生育期资料,探讨小麦生育期与温度的关系及变化趋势,以期为当地种植业结构调整和粮食安全生产提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

天水市位于甘肃省东南部,地处东经 $104^{\circ}35'\sim 106^{\circ}44'$,北纬 $34^{\circ}05'\sim 35^{\circ}10'$,海拔 $760\sim 3\,120\text{ m}$,地跨长江、黄河两流域,地理位置独特,全市总面积为 $14\,325\text{ km}^2$,人口 357 万人,其中农业人口 260 万人,是一典型的农业大市。该区域地势西北高,东南低,年均降水量 574 mm ,年均气温 $11\text{ }^{\circ}\text{C}$,年均日照 $2\,100\text{ h}$,气候温和,四季分明,日照充足。境内土层深厚,山塬开阔,是粮、油、菜、果主要生产区。冬小

麦常年播种面积为 13.48 万 hm^2 ,占总耕地面积的 35.3% ,占粮食作物面积的 43.9% 。

1.2 资料来源

气象资料由天水市气象局提供,统计历年气温、负积温、地温资料。

小麦生育期资料由天水市农业科学研究所提供。试验采用同一小麦品种咸农 4 号,在同一试验地(天水市农业科学研究所中梁试验站)进行,按照国家小麦区域试验的标准和要求记载。试验地点与当地气象站相距很近,避免由于品种本身及地域气温差异而导致的试验结果误差。

1.3 研究方法

采用 Microsoft Excel 2003 软件对小麦生育期资料和气象资料进行数据统计和制图。利用天水市的相关气象资料,结合天水市 1979—2007 年的小麦(咸农 4 号)生育期资料进行数据统计分析,应用 DPS 软件,建立回归模拟方程,计算相关系数,分析小麦生育期与气温的关系及变化趋势,揭示小麦对气候变暖的响应。

2 结果与分析

2.1 天水市气温和地温的变化特征

2.1.1 年平均气温变化趋势和变化幅度 1970—2009 年,天水市年平均气温为 $11.02\text{ }^{\circ}\text{C}$,平均气温一直呈比较平稳的上升趋势,增幅 $0.469\text{ }^{\circ}\text{C}/10$ 年, R^2 为 $0.943\,8$ (图 1-A)。天水市平均气温在 1993—1999 年及 2000—2009 年增加明显,1988 年以前,气温距平全部为负值,1988 年以后,气温距平全部为正值(图 1-B)。

由图 2 可以看出,1968—2008 年,年四季平均气温均呈上升趋势,其中以冬季、春季上升最为明显,秋季、夏季次之,增温幅度依次为 $0.564, 0.547, 0.379, 0.308\text{ }^{\circ}\text{C}/10$ 年, R^2 值依次为 $0.405\,9^{**}, 0.423\,0^{**}, 0.367\,2^{**}, 0.204\,6^{**}$ 。全年平均气温的升高以冬季、春季增温为主。

2.1.2 负积温变化趋势和变化幅度 由图 3 可知,1980 年以来,天水市年负积温绝对值总体呈减少趋势,拟合方程 $y = 1.681\,1x - 147.55$,倾向率为 $1.681\,1\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{年}$, $R^2 = 0.102$,减少幅度为 $16.811\text{ }^{\circ}\text{C}/10$ 年,在 1980—1989 年的 10 年间,平均负积温

为-151.56℃;1990-1999 年的 10 年间,平均负积温为-116.3℃;2000-2009 年的 10 年间,平均负

积温为-125.91℃,后 2 个 10 年较前 1 个 10 年平均负积温绝对值有不同程度的下降。

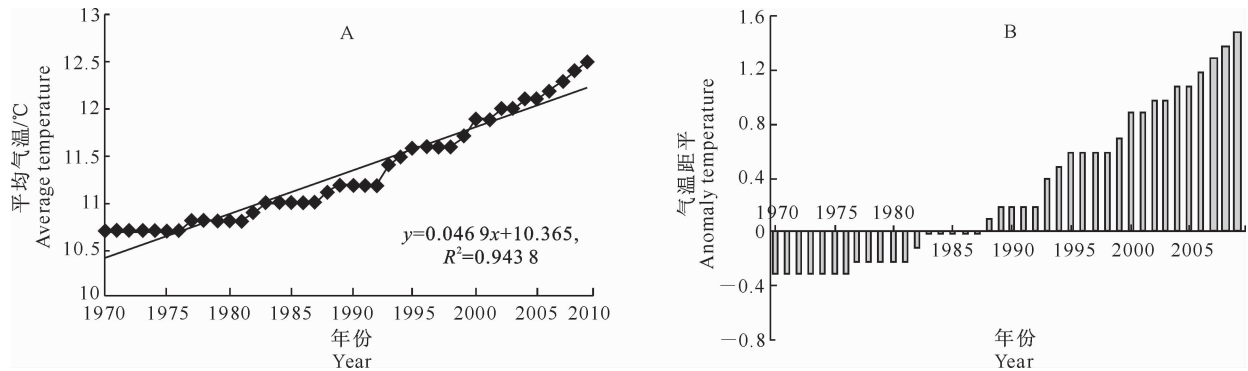


图 1 1970-2009 年甘肃天水市年平均气温和气温距平的变化

Fig. 1 Variations of average temperature and annual temperature anomaly from 1970 to 2009 in Tianshui City, Gansu Province

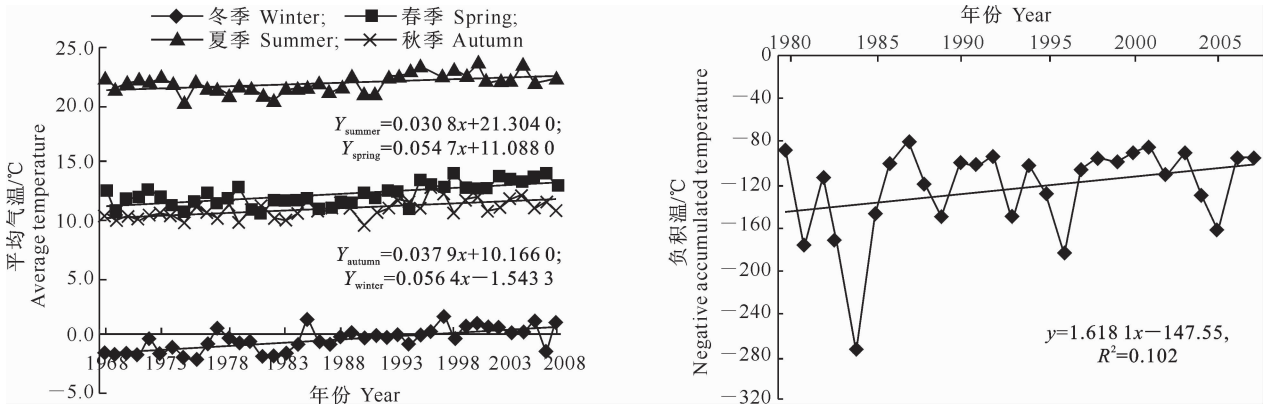


图 2 甘肃天水市年四季平均气温的变化

Fig. 2 Variations of average temperature in each season in Tianshui City, Gansu Province

2.1.3 平均地温变化趋势和变化幅度 1968-2008 年,天水市 5,10,15,20 cm 土层平均地温分别为 12.80,12.90,12.93,12.95℃。其中最高地温出现在

图 3 甘肃天水市年负积温的变化

Fig. 3 Variations of negative accumulated temperature in Tianshui City, Gansu Province

2006 年,5,10,15,20 cm 土层平均地温分别为 14.0, 14.0,14.1,14.1℃。1976 年和 1992 年的平均地温较低,在 1992 年后,平均地温明显上升(图 4)。

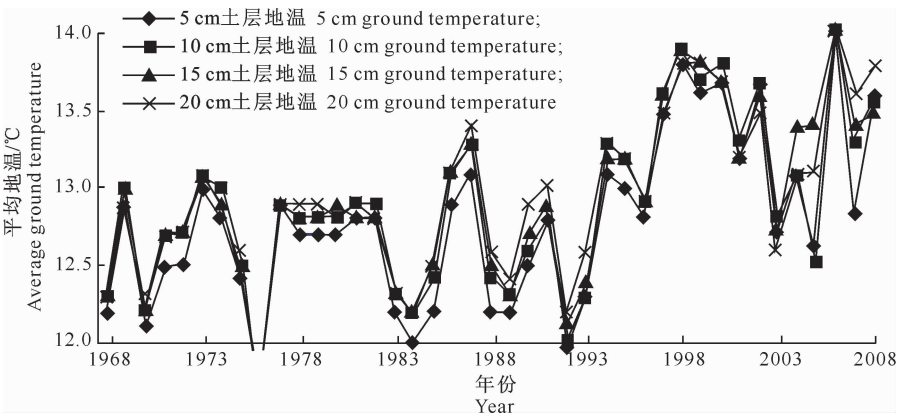


图 4 1968-2008 年甘肃天水市平均地温的变化趋势

Fig. 4 Variations of average ground temperature from 1968 to 2008 in Tianshui City, Gansu Province

1968-1978,1979-1988,1989-1998 和 1999-2008 年,5,10,15,20 cm 土层平均地温分别为 12.5,

12.6,12.6,12.7;12.6,12.7,12.7,12.8;12.8,12.9,12.9,13.0 和 13.3,13.4,13.5,13.5℃。

2.2 天水市冬小麦生育期变化及对气温变化的响应

2.2.1 冬小麦物候期的变化 由图 5-A 和 5-B 可

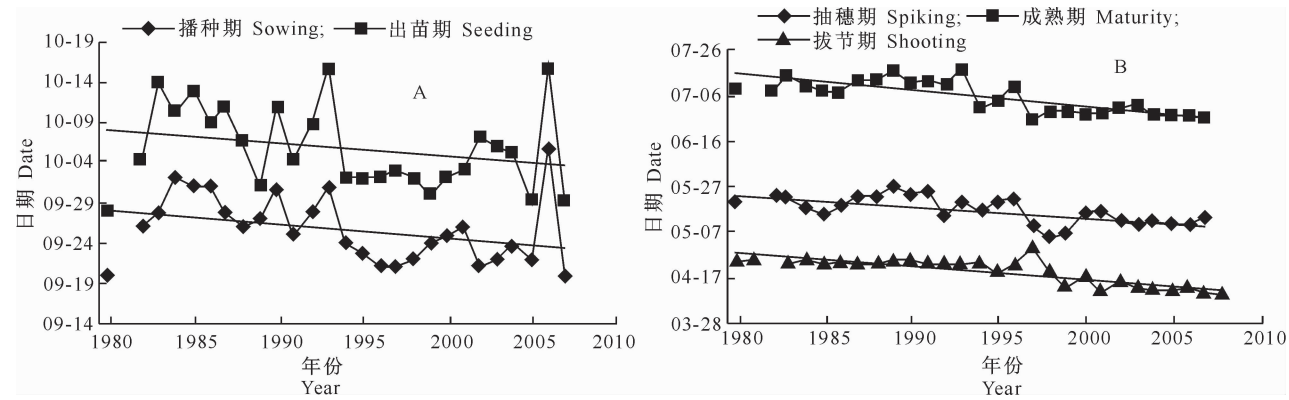


图 5 1979—2007 年甘肃天水市冬小麦物候期的变化

Fig. 5 Variations of phenological period of winter wheat from 1979 to 2007 in Tianshui City, Gansu Province

2.2.2 冬小麦生育期的变化 天水市冬小麦的出苗期平均为 10 d,变化趋势不明显,而拔节期、抽穗期和成熟期均呈现缩短的变化趋势(图 6-A),其中

拔节期、抽穗期、成熟期分别缩短了 4. 261,2. 759, 4. 811 d/10 年(表 1)。

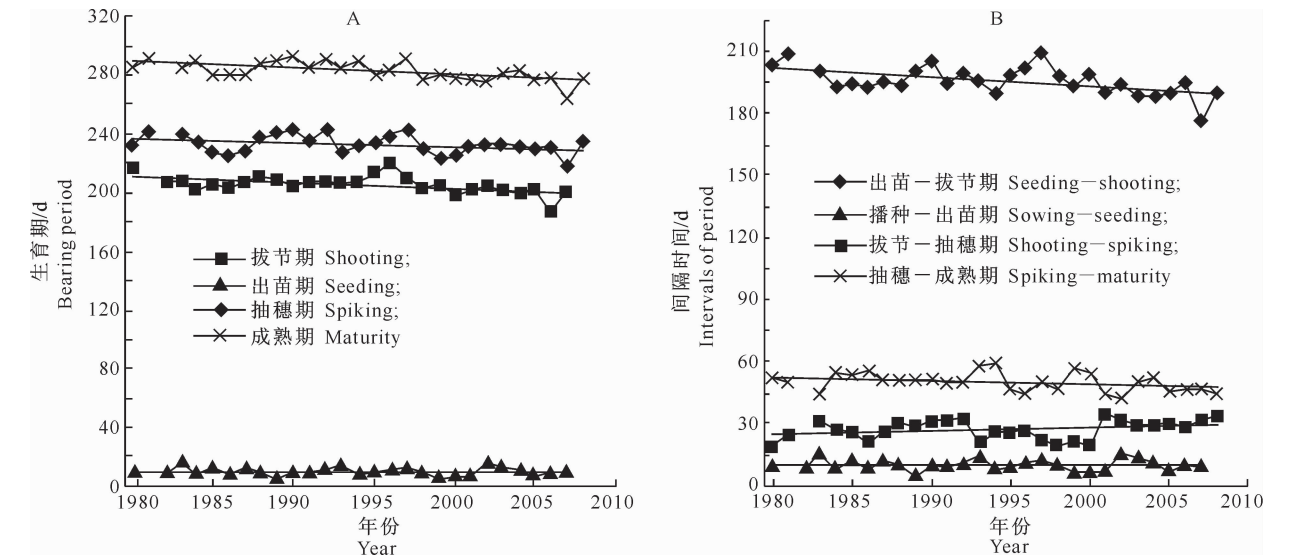


图 6 1979—2007 年甘肃天水市冬小麦生育期的变化

Fig. 6 Variations of bearing period of winter wheat from 1979 to 2007 in Tianshui City, Gansu Province

由图 6-B 和表 1 可知,在冬小麦生育期各阶段中,播种—出苗期、拔节—抽穗期间隔时间有延长的趋势,分别延长 0.018,1.680 d/10 年。出苗—拔节期、抽穗—成熟期间隔时间呈缩短趋势,分别缩短 4.453,2.053 d/10 年。

2.2.3 冬小麦全生育期对气候变暖的响应 天水市年平均气温一直呈比较平稳的上升趋势,小麦全生育期随平均气温的线性升高呈明显缩短趋势(图

7-A),说明平均气温的升高对冬小麦全生育期的影响很大,平均气温与全生育期的相关系数为 -0.5886^{**} 。天水市年平均负积温绝对值呈现减少的趋势,冬小麦全生育期随负积温绝对值的减少呈缩短趋势(图 7-B)。随着气候变暖,小麦生育期内平均气温升高,负积温绝对值减少,使小麦生长加快,发育期提前。

2.2.4 四季平均气温变化与冬小麦生育期的关系

本研究中,1968—2008 年天水市四季平均气温的变化与姚小英等^[8]分析天水四季气温及毛玉琴^[9]分析甘肃东部气温变化一致。天水市秋季平均气温明显升高,且该季节是全年中降水最多的季节,所以秋季气温升高对小麦的播种出苗没有太大影响,一般能正常出苗。冬季、春季年平均气温升高,冬小麦旺长,使麦苗生长细嫩,茎数多,分蘖节储藏糖分不足,

小麦抗冻能力降低,这对冬小麦安全越冬不利;同时,旺长还会消耗大量养分和水分,不利于来年冬小麦的正常生长,因此建议适当推迟小麦播期。天水市冬小麦出苗—拔节期提前,出苗—拔节期与冬季、春季平均气温均呈负相关,相关系数分别为 -0.3849^* 和 -0.2827 。

表 1 1979—2007 年甘肃天水市冬小麦生育期或距平(y)与平均气温(x)的回归方程

Table 1 Regression equations between each growth stage of winter wheat or anomaly (y) and average temperature (x) from 1979 to 2007 in Tianshui City, Gansu Province

生育期或距平 Bearing or anomaly	回归方程 Equation	倾向率/(d·10 年 ⁻¹) Trend	R ² Correlation coefficient
出苗期 Seeding	$y=0.0018x+9.9373$	0.018	0.0005
拔节期 Shooting	$y=-0.4261x+211.6000$	-4.261	0.2679**
抽穗期 Spiking	$y=-0.2759x+236.8600$	-2.759	0.1279
成熟期 Maturity	$y=-0.4811x+289.6900$	-4.811	0.3609**
播种—出苗期 Rowing—seeding	$y=0.0018x+9.9373$	0.018	0.0005
出苗—拔节期 Seeding—shooting	$y=-0.4453x+202.4200$	-4.453	0.2612**
拔节—抽穗期 Shooting—spiking	$y=0.1680x+24.4920$	1.680	0.0772
抽穗—成熟期 Spiking—maturity	$y=-0.2053x+52.8330$	-2.053	0.1505
出苗期距平 Anomaly of seeding	$y=0.0018x+0.0627$	0.018	0.0005
拔节期距平 Anomaly of shooting	$y=-0.4261x+9.5954$	-4.261	0.2679**
抽穗期距平 Anomaly of spiking	$y=-0.2759x+3.8571$	-2.759	0.1279
成熟期距平 Anomaly of maturity	$y=-0.4811x+8.6905$	-4.811	0.3609**
抽穗—成熟期距平 Anomaly of spiking—maturity	$y=-0.2106x+4.5265$	-2.106	0.1434*

注：“*”和“**”分别表示相关性显著($P<0.05$)或极显著($P<0.01$)。
Note: “*” and “**” indicate significant difference ($P<0.05$) and extremely significant difference ($P<0.01$), respectively.

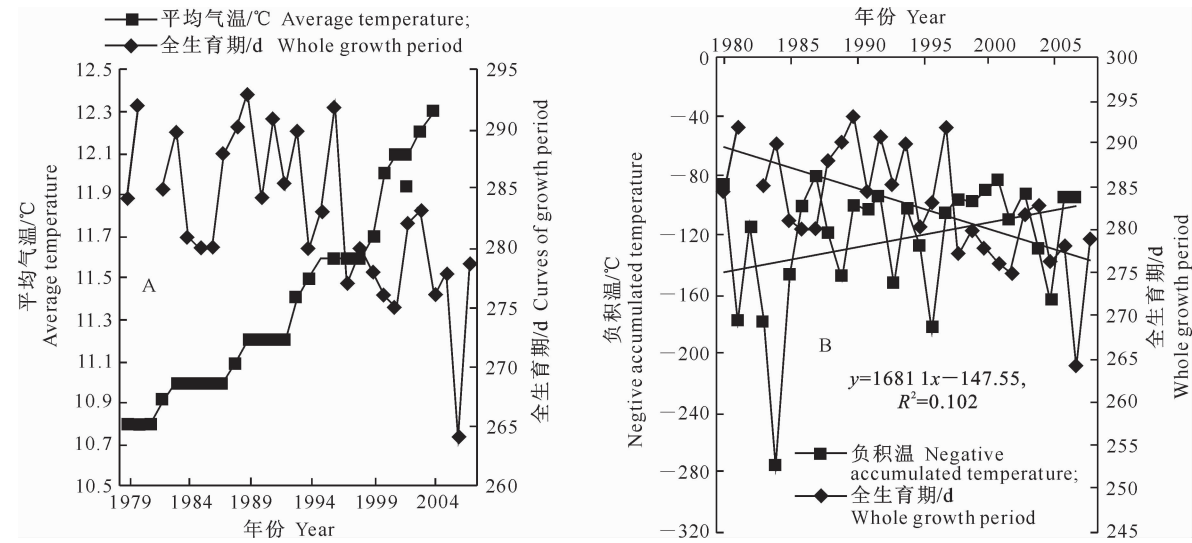


图 7 1979—2007 年甘肃天水市冬小麦全生育期与期间年平均气温及负积温的变化

Fig. 7 Changes of winter wheat whole growth period with mean temperature and negative accumulated temperature from 1979 to 2007 in Tianshui City, Gansu Province

2.2.5 平均地温变化与冬小麦生育期的关系 由于土壤温度可直接影响根系的生长、根系对水分和矿物营养的吸收、养分的运转和贮存以及根的呼吸作用等。土壤温度的升高会加快小麦的生长,进而

影响其生育期。随平均地温的升高,小麦成熟期缩短,15,20 cm 土层地温升高的影响大于 5,10 cm 土层,小麦全生育期与 5,10,15,20 cm 土层平均地温的相关系数分别为 -0.6095^{**} , -0.6100^{**} ,

-0.666 1** 和-0.631 5**,呈显著负相关。

2.2.6 冬小麦生育期距平与期间年平均气温的关系 天水市冬小麦出苗期距平变化平缓,绝大多数在-5~5 d,呈现锯齿形的变化;而拔节期、抽穗期、成熟期距平变化幅度较大,减少趋势明显,在 1998

年之后以负距平为主(图 8-A),减少幅度分别为 4.261,2.759,4.811 d/10 年(表 1);抽穗一成熟期距平随期间平均气温的升高而减少(图 8-B),抽穗一成熟期距平减少幅度为 2.106 d/10 年(表 1)。

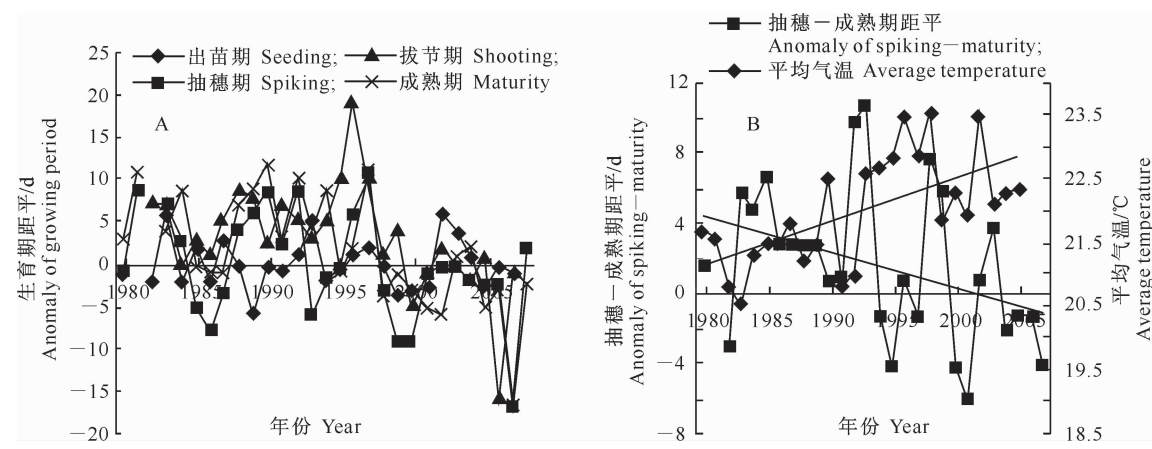


图 8 1979—2007 年甘肃天水市冬小麦生育期距平与期间平均气温的变化

Fig.8 Changes of anomaly of each growth stage with average temperature from 1979 to 2007 in Tianshui City,Gansu Province

3 讨论与结论

本研究中,天水市平均气温、四季平均气温、平均地温均呈现上升的趋势,负积温绝对值呈减少的趋势。平均气温的增幅为 0.469℃/10 年;四季中,平均气温的上升以冬季、春季上升最为明显,秋季、夏季次之,增温幅度依次为 0.564,0.547,0.379,0.308℃/10 年;负积温绝对值总体呈减少趋势,减少幅度为 16.811℃/10 年。

本研究中,随着平均气温和地温的升高,冬小麦全生育期有明显的缩短趋势。天水市冬小麦的出苗期平均为 10 d,变化趋势不明显;而拔节期、抽穗期和成熟期均呈现缩短的变化趋势。此外出苗一拔节期、抽穗一成熟期的间隔时间也呈缩短趋势,分别缩短 4.453,2.053 d/10 年。平均气温、负积温以及 5,10,15,20 cm 土层平均地温与小麦全生育期均呈负相关关系;出苗一拔节期与冬季、春季平均气温呈负相关关系,说明气候变暖已对天水市冬小麦的生长发育产生了较大影响。

可能由于受全球气候变暖和经济效益的影响,喜温作物玉米、马铃薯的种植面积扩大;同时冬油菜的种植面积也扩大,单位面积产量增加,作物复种指数提高,多熟制区域扩大^[12],在 1978—2009 年,天水市小麦面积减少幅度为 70.6 hm²/年,玉米、马铃

薯、油菜面积增加幅度分别为 804.2,723.8,1 072.4 hm²/年^[13]。

随着作物全生育期平均气温的上升,越冬作物播期推迟,生育期缩短^[14]。本研究结果显示,随着平均气温的升高,小麦成熟期存在明显提前的响应变化特征,这与王位泰等^[11]的研究结果一致。据韩永翔等^[10]研究,全球年平均温度每增加 1℃,北半球中纬度的作物带将在水平方向北移 150~200 km,垂直方向上移 150~200 m。但天水市作物带如何变化以及气候变暖后对天水农作物种植结构、熟制的影响还需要深入研究。

【参考文献】

[1] 林学椿,于淑秋.近 40 a 我国气候趋势[J].气象,1990,16(10):16-22.
Lin X C,Yu S Q.Climatic trend in China for the last 40 years[J].Meteorological,1990,16(10):16-22.(in Chinese)

[2] 吴军,徐海根,陈炼.气候变化对物种影响研究综述[J].生态与农业环境学报,2011,27(4):1-6.
Wu J,Xu H G,Chen L.A review of impacts of climate change on species[J].Journal of Ecology and Rural Environment,2011,27(4):1-6.(in Chinese)

[3] 丁一汇,孙颖.中国近 50 年和未来 50 年气候变化[C]//陈邦柱,秦大河.气候变化与生态环境研讨会文集.北京:气象出版社,2002:53-57.
Ding Y H,Sun Y.China in nearly 50 years and the next 50 years to climate change[C]//Chen B Z,Qin D H.Climate

change and ecological environment seminar collection. Beijing: China Meteorological Press,2002;53-57. (in Chinese)

[4] 刘德祥,董安祥,邓振镛. 中国西北地区气候变暖对农业的影响[J]. 自然资源学报,2005,20(1):119-125.

Liu D X,Dong A X,Deng Z Y. Climate warming and its agricultural influence research in China northwest area[J]. Journal of Natural Resources,2005,20(1):119-125. (in Chinese)

[5] 林而达,杨修. 气候变化对农业的影响评价及适应对策[M]. 北京:气象出版社,2002;72-77.

Lin E D,Yang X. Impact assessment and adaptation strategy of climatic change on agriculture[M]. Beijing:China Meteorological Press,2002;72-77. (in Chinese)

[6] 郑淑霞,上官周平. 黄土高原植物对气候变化的生态响应[C]//陈邦柱,秦大河. 气候变化与生态环境研讨会文集. 北京:气象出版社,2002;394-398.

Zheng S X,Shangguan Z P. Plants in Loess Plateau on climate change and ecological response [C]//Chen B Z,Qin D H. Climate change and ecological environment seminar collection. Beijing: China Meteorological Press, 2002; 394-398. (in Chinese)

[7] 王静,韩永翔,尉元明. 甘肃省雨养农业区气候变暖背景下秋粮生产脆弱性研究[J]. 干旱地区农业研究,2006,24(1):15-19.

Wang J,Han Y X,Wei Y M. Climate vulnerability of autumn grain crops in rainfed farming areas of Gansu Province[J]. Agricultural Research in the Arid Areas,2006,24(1):15-19. (in Chinese)

[8] 姚小英,朱拥军,把多辉,等. 天水市 45 a 气候变化特征对林果生长的影响[J]. 干旱地区农业研究,2008,26(2):240-245.

Yao X Y,Zhu Y J,Ba D H,et al. Climate changing feature and its impact on fruit development in Tianshui in last 45 years[J]. Agricultural Research in the Arid Areas,2008,26(2):240-245. (in Chinese)

[9] 毛玉琴. 甘肃东部气候变化及冬小麦生长发育响应特征[J]. 干旱地区农业研究,2009,27(6):257-262.

Mao Y Q. Characters of climate change and winter wheat ecological response in East Gansu [J]. Agricultural Research in the Arid Areas,2009,27(6):257-262. (in Chinese)

[10] 韩永翔,董安祥,王卫东. 气候变暖对中国西北主要农作物的影响[J]. 干旱地区农业研究,2004,22(4):39-43.

Han Y X,Dong A X,Wang W D. Effect of climatic warming on the crops in northwest China [J]. Agricultural Research in the Arid Areas,2004,22(4):39-43. (in Chinese)

[11] 王位泰,张天锋,黄斌,等. 甘肃陇东黄土高原冬小麦对气候变暖的响应[J]. 生态学杂志,2006,25(7):774-778.

Wang W T,Zhang T F,Huang B,et al. Responses of winter wheat in the Loess Plateau of east Gansu Province to climate warming [J]. Chinese Journal of Ecology, 2006, 25(7): 774-778. (in Chinese)

[12] 邓振镛,张强,韩永翔,等. 甘肃省农业种植结构影响因素及调整原则探讨[J]. 干旱地区农业研究,2006,24(3):126-129.

Deng Z Y,Zhang Q,Han Y X,et al. A discussion on the main principles and impact factors in planting structure adjustment in Gansu [J]. Agricultural Research in the Arid Areas,2006,24(3):126-129. (in Chinese)

[13] 高 强,郭 恒,赵国良,等. 作物种植结构变化及影响粮食产量的因素分析[J]. 中国农业资源与区划,2012,33(4):36-41.

Gao Q,Guo H,Zhao G L,et al. Change of crop planting structure and influence factors of grain yield [J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2012, 33(4):36-41. (in Chinese)

[14] 邓振镛,张 强,刘德祥,等. 气候变暖对甘肃种植业结构和农作物生长的影响[J]. 中国沙漠,2007,27(4):627-632.

Deng Z Y,Zhang Q,Liu D X,et al. Effects of climate warming on cropping structure and crop growth in Gansu Province [J]. Journal of Desert Research, 2007, 27(4): 627-632. (in Chinese)