

张立生,温辉芹,裴自友,等. 太原市冬小麦播期农业热量资源突变分析[J]. 江苏农业科学,2018,46(8):299-303.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.08.073

太原市冬小麦播期农业热量资源突变分析

张立生,温辉芹,裴自友,王宏兵,程天灵,李 雪,朱 政

(山西省农业科学院作物科学研究所,山西太原 030031)

摘要:为了明确山西省太原市平原区冬小麦播期与温度及冬前积温的关系,研究气温变化对冬小麦播期的影响,选用日平均气温稳定通过 $15 \sim 18^{\circ}\text{C}$ 终日 and 越冬前 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温作为冬小麦播期确定的农业热量资源指标,利用统计方法分析太原市 1951—2010 年 60 年来的热量资源变化特点、趋势和突变特征。结果表明,太原市 60 年中 $\geq 18^{\circ}\text{C}$ 终日推迟了 $4 \sim 5\text{ d}$, $\geq 15^{\circ}\text{C}$ 终日推迟了 $2 \sim 3\text{ d}$, 小麦冬前停止生长期推迟了 $4 \sim 5\text{ d}$ 。从冬小麦播种的最适温度和冬前壮苗对越冬前积温要求的平均状况分析得出,太原市平原区冬小麦的最佳播期为 9 月 18—21 日。

关键词:冬小麦;播期;热量;积温;趋势;突变

中图分类号: S512.1⁺10.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)08-0299-05

太原市位于太原盆地北端,西、北、东三面环山,中、南为汾河河谷平原,属北温带大陆性气候。冬小麦为太原市平原区的主要粮食作物之一。充分合理利用当地农业气候资源进

收稿日期:2018-01-05

基金项目:山西省农业科学院自主创新能力提升工程项目(编号:2017zzcx-12);山西省科技攻关项目(编号:20150311001-3);山西省农业科学院科研项目(编号:17yzgc081);“十二五”农村领域国家科技计划(编号:2011AA100501);国家重点研发计划(编号:2017YFD0101002)。

作者简介:张立生(1963—),男,山西永和人,副研究员,主要从事小麦遗传育种及栽培技术研究。E-mail:zwsxs@126.com。

通信作者:温辉芹,硕士,研究员,主要从事小麦遗传育种及栽培技术研究。E-mail:w7580608@163.com。

根在底泥中,不仅对水体中的氮、磷具有较高的去除率,还能有效地吸附底泥中氮、磷,同时荷花有丰富的观赏价值,在河道、湖泊等生态治理方面具有较高的应用价值。荷花根据经济价值不同分为藕莲、籽莲、花莲,品种成百上千,如何挖掘不同类型、不同品种荷花的经济及生态功能,值得进一步研究探讨。

参考文献:

- [1] 邓文丽,刘均平,王晓星,等. 北京野鸭湖浮游植物群落结构与水质关系研究[J]. 湿地科学,2013,11(1):27-34.
- [2] Allinson G, Stagnitti F, Colville S, et al. Growth of floating aquatic macrophytes in alkaline industrial wastewaters [J]. Journal of Environmental Engineering, 2000, 126(12):1103-1107.
- [3] 方云英,杨肖娥,常会庆,等. 利用水生植物原位修复污染水体[J]. 应用生态学报,2008,19(2):407-412.
- [4] 张志勇,刘海琴,严少华,等. 水葫芦去除不同富营养化水体中氮、磷能力的比较[J]. 江苏农业学报,2009,25(5):1039-1046.
- [5] 宋玉芝,朱广伟,秦伯强. 太湖康山湾示范区水生植物对水体氮、磷控制的适用性分析[J]. 湖泊科学,2013,25(2):259-265.
- [6] 金树权,周金波,朱晓丽,等. 10 种水生植物的氮磷吸收和水质净化能力比较研究[J]. 农业环境科学学报,2010,29(8):1571-

行冬小麦适期播种,是促进形成冬前壮苗的关键技术之一^[1-2]。长期以来,当地农业生产中,习惯将农历“秋分”前后作为冬小麦的播种期。但随着全球气候变暖,我国冬小麦种植北界北移^[3-5],全生育期缩短^[6-7],播种期推迟^[8-13]。笔者利用太原地面气象观测站 1951—2010 年逐日日平均气温资料,对该市冬小麦播种至越冬前有关气候要素进行数理统计分析,确定气候变暖背景下冬小麦的适宜播种期,对指导该市冬小麦生产具有十分重要的指导意义。

1 材料与方法

1.1 材料来源

本研究所分析的数据来源于中国气象科学数据共享服务网(<http://cdc.cma.gov.cn/home.do>)山西省太原地面气象观

1575.

- [7] Ran N, Agami M, Oron G. A pilot study of constructed wetlands using duckweed (*Lemna gibba* L.) for treatment of domestic primary effluent in Israel [J]. Water Research, 2004, 38(9):2240-2247.
- [8] El-Shafai S A, El-Gohary F A, Nasr F A, et al. Nutrient recovery from domestic wastewater using a UASB-duckweed ponds system [J]. Bioresource Technology, 2007, 98(4):798-807.
- [9] 何连生,孟繁丽,孟 睿,等. 利用荷花治理白洋淀水体富营养化的原位围隔研究[J]. 湿地科学,2013,11(2):282-285.
- [10] 章志琴,方弟安,徐卫红,等. 荷花和睡莲对景观水净化的效果研究[J]. 江苏农业科学,2009(5):320-322.
- [11] 王其超,张行言. 中国荷花品种图志[M]. 北京:中国林业出版社,2005:10-11.
- [12] 王 佩,卢少勇,王殿武,等. 太湖湖滨带底泥氮、磷、有机质分布与污染评价[J]. 中国环境科学,2012,32(4):703-709.
- [13] 贺宝根,周乃晟,袁宣民. 底泥对河流二次污染浅析[J]. 环境污染与防治,1999(3):41-43.
- [14] 胡雪峰,高效江,陈振楼. 上海市郊河流底泥氮磷释放规律的初步研究[J]. 上海环境科学,2001,20(2):66-70.
- [15] 文 威,孙学明,孙淑娟,等. 海河底泥氮磷营养物静态释放模拟研究[J]. 农业环境科学学报,2008,27(1):295-300.

测站 1951—2010 年逐日日平均气温资料。

1.2 冬小麦播期农业热量指标

1.2.1 冬小麦播种的最适温度 冬小麦种子发芽的最适温度为 $15 \sim 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ [14]。

1.2.2 越冬前形成壮苗所需 $\geq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 积温 一般来说,小麦播种深度 $3 \sim 5\text{ cm}$,从播种到出苗需 $\geq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 积温 $100 \sim 120\text{ }^{\circ}\text{C} \cdot \text{d}$,主茎每长 1 张叶需 $\geq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 积温 $70 \sim 80\text{ }^{\circ}\text{C} \cdot \text{d}$,则形成主茎 5 叶 1 心至 7 叶的壮苗需要 $\geq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 积温 $485 \sim 680\text{ }^{\circ}\text{C} \cdot \text{d}$ 。

1.3 研究方法

1.3.1 资料统计 采用五日滑动平均法 [15] 确定 $\geq 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $\geq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 终日日期、 $\geq 15 \sim 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ 终日日期及各播期到 $\geq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 终日的积温。

1.3.2 变化趋势和突变分析 引入气候倾向率 [16] 分析农业热量资源的变化趋势;突变特征分析采取 Mann - kendall (M - K) 即曼 - 肯德尔法 [17-18]。

1.4 数据处理

用 WPS 完成资料统计计算并作图。

2 结果与分析

2.1 冬小麦播种的适宜温度变化及突变特征

余松烈认为冬小麦从播种到出苗的日数,随播期的延迟而递增,最适宜的出苗日数为 $6 \sim 7\text{ d}$,出苗率最高,这时的日平均气温为 $15 \sim 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ [14]。本研究分析了 1951—2010 年太原市日平均气温稳定通过 $15 \sim 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ 终日以及 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 终日,结果

表明,太原市日平均气温稳定通过 $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ 终日为 9 月 4 日、 $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 终日为 9 月 18 日、 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 终日为 11 月 20 日。

随着气候变暖,日均气温稳定通过 $15 \sim 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ 终日期有明显的变化。通过分析 1951—2010 年太原市平原区日均气温稳定通过 $15 \sim 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ 日期变化趋势,从图 1 可以看出, $\geq 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ 终日最早出现在 2004 年 8 月 14 日,最晚出现在 2005 年 9 月 19 日,60 年平均值出现在 9 月 4 日,最早和最晚的时间跨度长达 34 d; $\geq 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 终日最早出现在 1957 年 8 月 31 日,最晚出现在 2005 年 10 月 1 日,60 年平均值出现在 9 月 18 日,最早和最晚的时间跨度长达 31 d。从 5 年移动平均曲线上看,各个年代间呈现波峰波谷交错的震荡趋势。20 世纪 50 年代, $\geq 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ 终日推迟的速度为 $9.8\text{ d}/10\text{ 年}$, $\geq 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 终日推迟的速度为 $7.7\text{ d}/10\text{ 年}$;20 世纪 60 年代, $\geq 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ 终日提前的速度为 $6.0\text{ d}/10\text{ 年}$, $\geq 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 终日推迟的速度为 $2.0\text{ d}/10\text{ 年}$;20 世纪 70 年代, $\geq 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ 终日提前的速度为 $6.2\text{ d}/10\text{ 年}$, $\geq 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 终日推迟的速度为 $2.3\text{ d}/10\text{ 年}$;20 世纪 80 年代, $\geq 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ 终日推迟的速度为 $1.9\text{ d}/10\text{ 年}$, $\geq 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 终日推迟的速度为 $0.9\text{ d}/10\text{ 年}$;20 世纪 90 年代, $\geq 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ 终日推迟的速度为 $2.1\text{ d}/10\text{ 年}$, $\geq 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 终日提前的速度为 $8.4\text{ d}/10\text{ 年}$;而 21 世纪初, $\geq 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ 终日提前的速度为 $5.0\text{ d}/10\text{ 年}$, $\geq 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 终日推迟的速度为 $4.7\text{ d}/10\text{ 年}$ 。从分析结果看,60 年中 $\geq 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ 终日推迟了 $4 \sim 5\text{ d}$, $\geq 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 终日推迟了 $2 \sim 3\text{ d}$,因此引起冬小麦适宜播种时期向后推迟。

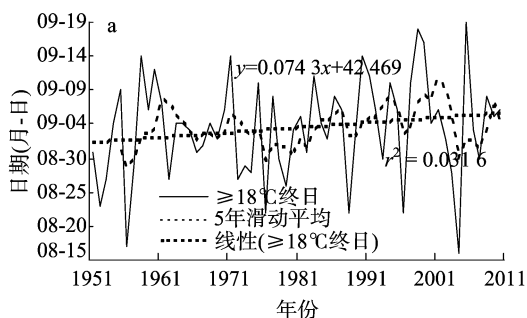


图1 日平均气温稳定通过 $15 \sim 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ 终日时间序列变化特征曲线

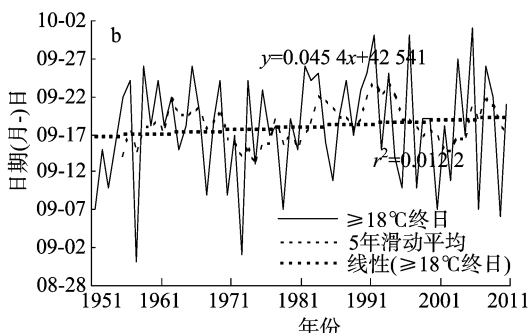


图 2 - a、图 2 - b 分别为 $\geq 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ 终日 and $\geq 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 终日时间序列突变曲线,从图 2 - a 可以看出 $\geq 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ 终日 1952 年、1953 年呈提前趋势,1954—1973 年呈推迟趋势,1974—1985 年除 1975 年外其他年份呈提前趋势,1986 年以后,除 1989 年外其他年份呈推迟趋势,但趋势均不明显,没有通过 0.05 水平显著性检验。根据 UFK 和 UBK 曲线交点位置, $\geq 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ 终日在 1954—1955 年、1955—1956 年、1957—1958 年、1961—1962 年、1982—1983 年、1983—1984 年、1985—1986 年、1987—1988 年、1988—1989 年、2002—2003 年、2004—2005 年、2007—2008 年、2008—2009 年、2009—2010 年均存在突变。从图 2 - b 可以看出 $\geq 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 终日 1977 年之前,除 1972 年和 1974 年外其他年份呈推迟趋势,1978—1981 年呈提前趋势,1982 年以后,除 2002 年外其他年份呈推迟趋势。在 1955 年和 1956 年变化趋势明显,通过了 0.05 水平显著性检验,其他年份变化趋势均不明显,没有通过 0.05 水平显著性检验。根据 UFK 和 UBK 曲线交点位置, $\geq 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 终日在 1951—1952

年、1952—1953 年、1953—1954 年、1966—1967 年、1967—1968 年、1969—1970 年、1972—1973 年、1973—1974 年、1974—1975 年、1975—1976 年、1978—1979 年、1980—1981 年、2000—2001 年、2008—2009 年、2009—2010 年均存在突变。

2.2 不同播期冬前积温变化及突变特征

冬前积温是指冬小麦从播种至进入越冬期间 $\geq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的积温,是冬小麦能否形成冬前壮苗的一项重要指标,也是确定最佳播种期的重要指标。本研究分析了 1951—2010 年太原市各播期至越冬期间积温的变化趋势及突变特征。

2.2.1 冬前积温变化趋势及突变特征 表 1 列出 1951—2010 年 60 年太原市各播期至越冬期间平均积温,以及达到 3 类苗所需积温出现概率。从表 1 可知,在 60 年中,9 月 12 日及其之前播种的冬小麦冬前积温处于旺苗标准范围之内,9 月 13—24 日播种的小麦越冬前积温处于壮苗标准范围内,9 月 17 日至 20 日播种,形成壮苗的概率 $> 80\%$,为最佳播期;9

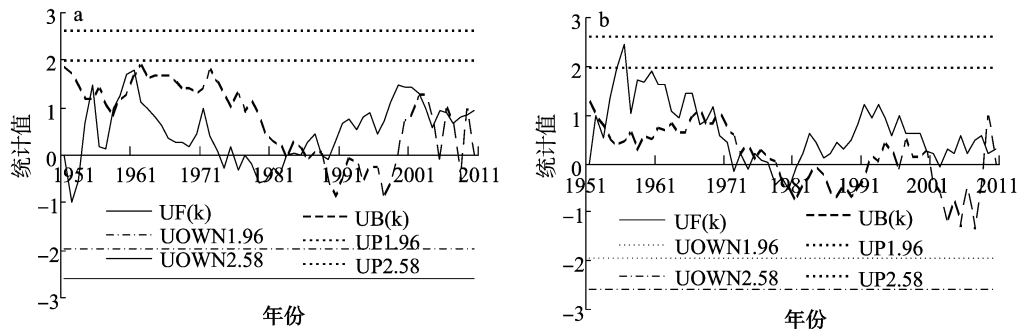


图2 日平均气温稳定通过15、18℃终日时间序列突变分析

表 1 不同播期的积温值在不同范围内出现的概率统计

播种期 (月-日)	冬前积温出现概率(%)			1951—2010 年冬前积温 平均值(℃·d)
	旺苗	壮苗	弱苗	
09-12	51.67	48.33	0	691.9
09-13	40.00	60.00	0	674.8
09-16	21.67	78.33	0	624.0
09-17	13.33	85.00	1.67	607.0
09-18	6.67	90.00	3.33	590.4
09-19	3.33	88.33	8.33	574.2
09-20	3.33	86.67	10.00	558.5
09-21	3.33	78.33	18.33	543.0
09-23	1.67	61.67	36.67	511.9
09-24	0	58.33	41.67	496.7
09-25	0	43.33	56.67	481.6
10-06	0	0	100.00	335.0

月 25 日及其之后播种的其冬前积温处于弱苗的标准范围内,而 10 月 6 日及其以后播种的其冬前积温几乎不可能形成壮苗。

图 3-a、图 3-b、图 3-c、图 3-d、图 3-e 分别为 9 月 13 日、9 月 17 日、9 月 20 日、9 月 24 日和 10 月 6 日 5 个播期冬前积温变化特征曲线,从图 3 可以看出各积温均呈现较快的增加趋势,各播期冬前积温 60 年分别增加了 106.0、97.0、91.0、90.9、67.7℃·d。

图 4-a、图 4-b、图 4-c、图 4-d、图 4-e 分别为 9 月 13 日、9 月 17 日、9 月 20 日、9 月 24 日和 10 月 6 日 5 个播期冬前积温时间序列突变变曲线,从图 4 可以看出,9 月 13 日播期冬前积温从 1997—1998 年开始突变,2004—2005 年达到明显水平;9 月 17 日播期冬前积温从 1997—1998 年开始突

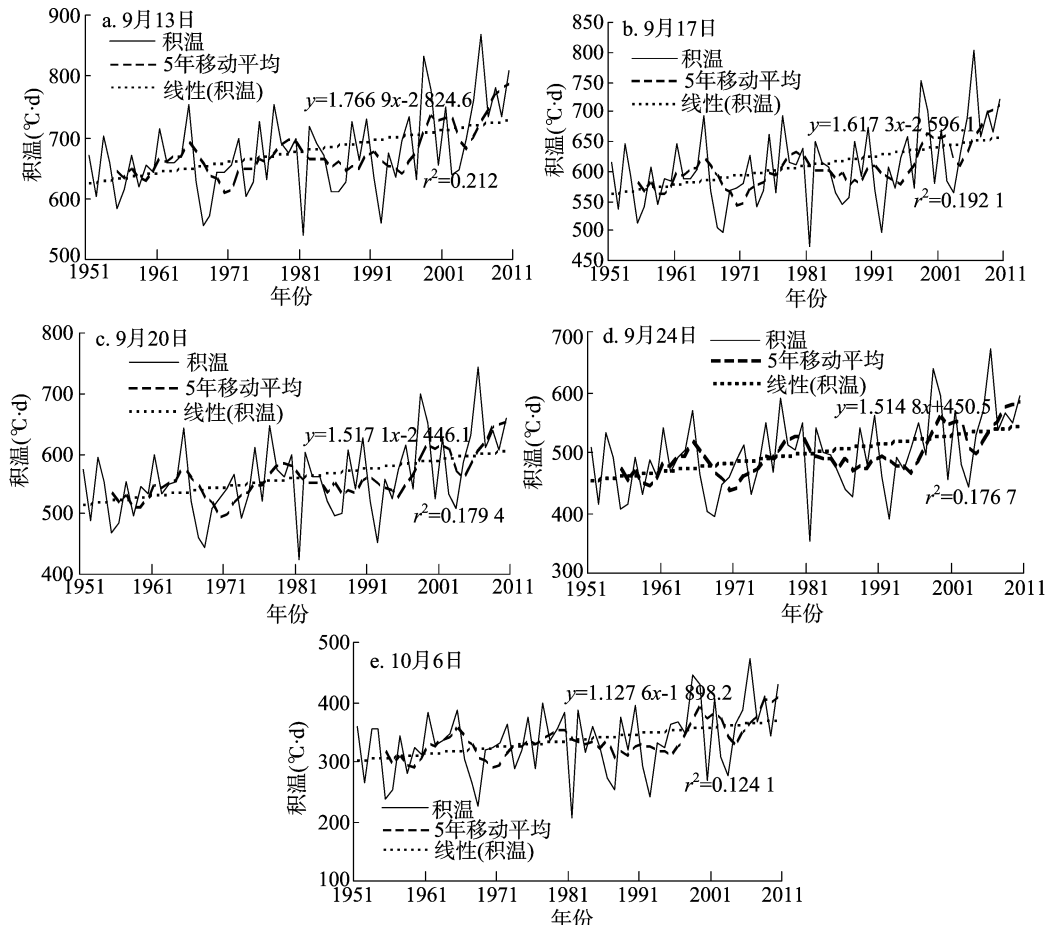


图3 不同播期冬前积温变化特征

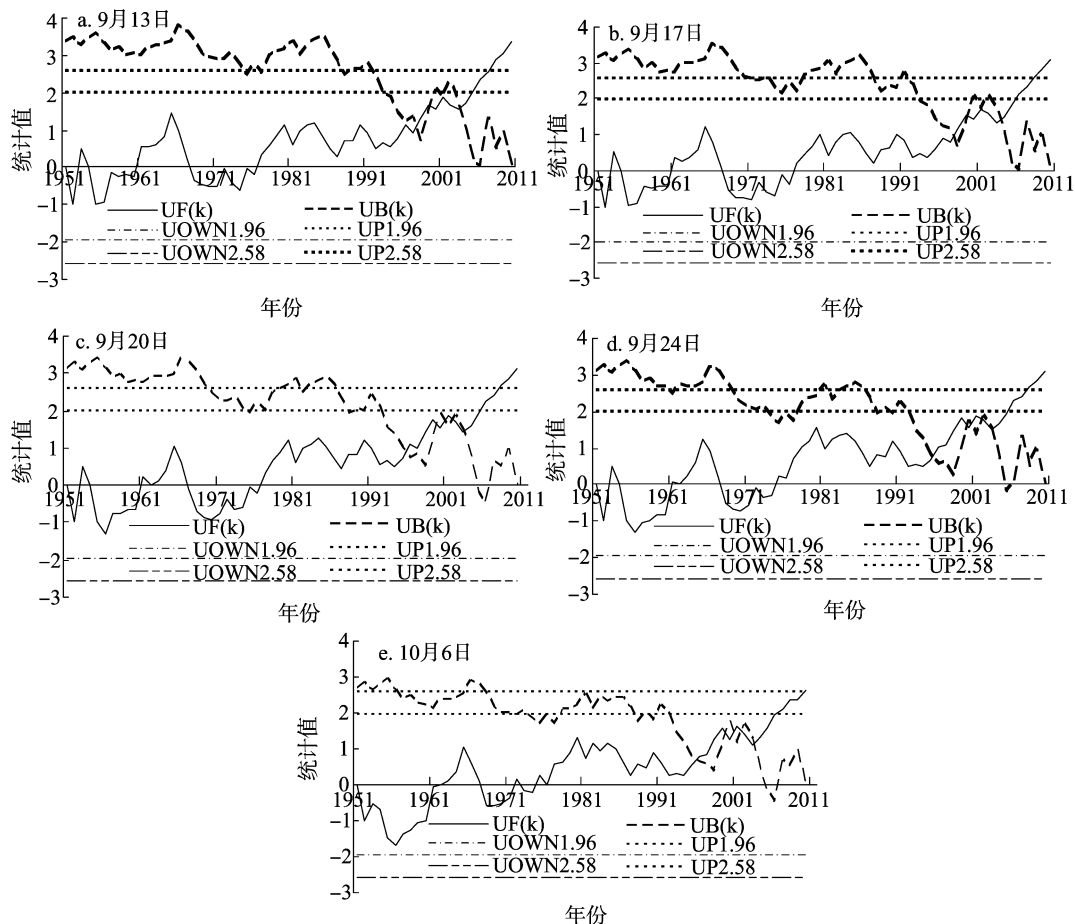


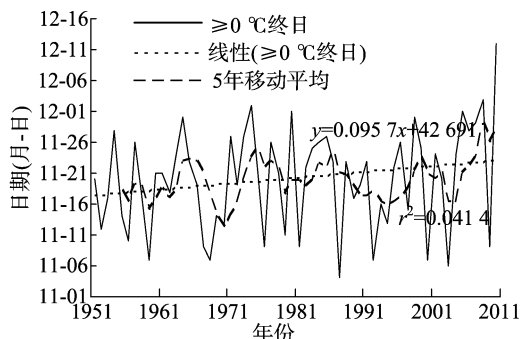
图4 不同播期冬前积温时间序列突变分析

变,2005—2006 年达到明显水平;9月20日播期冬前积温从1995—1996年开始突变,2005—2006年达到明显水平;9月24日播期冬前积温从1995—1996年开始突变,2005年达到明显水平;10月6日播期冬前积温从1995—1996年开始突变,2006年达到明显水平。

2.2.2 越冬前积温年代际变化特征 表2的统计结果显示,各播种期的冬前积温在20世纪50年代、60年代和80年代与60年平均值相比,距平均值均为负值,20世纪70年代和90年代比60年平均值略偏多,偏多大都低于 $10\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$,而21世纪初10年(2001—2010年)明显偏多,比平均值偏多 $37.3\sim 64.5\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 。

2.2.3 冬小麦冬前停止生长日期的变化特征 冬小麦冬前停止生长日期为日平均气温稳定通过 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的终日。分析日均气温稳定通过 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 日期变化特征,可知冬小麦冬前停止生长日期的变化特征。随着气候变暖,日均气温稳定通过 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 日期有明显的变化。通过分析1951—2010年太原市日均气温稳定通过 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 日期变化趋势,从图5可以看出,日平均气温稳定通过 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的终日最早出现在1987年10月30日,最晚出现在2010年12月12日,60年平均值出现在11月20日,最早和最晚的时间跨度长达43 d;从5年移动平均曲线上看,各个年代间呈现波峰波谷交错的震荡趋势,20世纪50年代提前的速度为 $2.0\text{ d}/10\text{ 年}$,20世纪60年代推迟的速度为 $0.5\text{ d}/10\text{ 年}$,20世纪70年代推迟的速度为 $8.7\text{ d}/10\text{ 年}$,20世纪80年代推迟的速度为 $0.06\text{ d}/10\text{ 年}$,20世纪90年代推迟的速度

为 $6.0\text{ d}/10\text{ 年}$,而21世纪初推迟速度为 $9.09\text{ d}/10\text{ 年}$ 。从分析结果看,60年冬小麦冬前停止生长期推迟了 $4\sim 5\text{ d}$,由此引起冬小麦冬前生长时间延长,有利于小麦冬前营养生长,但因延长时段是秋末冬初,气温低,积温贡献少,因此需注意播期不能过晚。

图5 日平均气温稳定通过 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的终日时间序列变化特征曲线

2.2.4 最佳播期的确定 太原市平原区冬小麦最佳播期的确定应同时考虑以下2个指标:日平均气温降到 $15\sim 18\text{ }^{\circ}\text{C}$;以播期到冬前停止生长期期间的积温达 $485\sim 680.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 作为壮苗标准。结果(表1、表2)表明,在60年中,9月13—24日,日平均气温处于 $15\sim 18\text{ }^{\circ}\text{C}$,冬前积温处于 $485\sim 680\text{ }^{\circ}\text{C}$ 壮苗标准范围内的概率为 $58.33\%\sim 90\%$,而9月17—20日播种壮苗出现率超过 80% ,且旺苗出现概率不超过 13.33% ,弱苗出现概率不超过 10% ,因此应确定为最佳播期;9月25日

至 10 月 5 日播种,56.67% 以上属于弱苗,而 10 月 6 日以后播种 100% 为弱苗,很难形成冬前壮苗,因此生产上不宜提倡。

表 2 越冬前积温年代际距平值统计

时间	年代	越冬前积温($^{\circ}\text{C} \cdot \text{d}$)		
		平均值	1951—2010 年 平均值	距平
9 月 15 日	20 世纪 50 年代	608.4	640.9	-32.5
9 月 15 日	20 世纪 60 年代	615.3	640.9	-25.6
9 月 15 日	20 世纪 70 年代	642.5	640.9	1.6
9 月 15 日	20 世纪 80 年代	626.1	640.9	-14.8
9 月 15 日	20 世纪 90 年代	647.7	640.9	6.8
9 月 15 日	21 世纪初	705.4	640.9	64.5
9 月 21 日	20 世纪 50 年代	512.6	543.0	-30.4
9 月 21 日	20 世纪 60 年代	518.6	543.0	-24.4
9 月 21 日	20 世纪 70 年代	549.7	543.0	6.7
9 月 21 日	20 世纪 80 年代	529.0	543.0	-14.0
9 月 21 日	20 世纪 90 年代	550.8	543.0	7.8
9 月 21 日	21 世纪初	597.2	543.0	54.2
9 月 26 日	20 世纪 50 年代	435.5	466.8	-31.3
9 月 26 日	20 世纪 60 年代	444.4	466.8	-22.4
9 月 26 日	20 世纪 70 年代	478.4	466.8	11.6
9 月 26 日	20 世纪 80 年代	449.8	466.8	-17.0
9 月 26 日	20 世纪 90 年代	474.9	466.8	8.1
9 月 26 日	21 世纪初	517.7	466.8	50.9
10 月 3 日	20 世纪 50 年代	345.6	371.9	-26.4
10 月 3 日	20 世纪 60 年代	358.1	371.9	-13.8
10 月 3 日	20 世纪 70 年代	379.2	371.9	7.3
10 月 3 日	20 世纪 80 年代	359.4	371.9	-12.5
10 月 3 日	20 世纪 90 年代	373.7	371.9	1.8
10 月 3 日	21 世纪初	415.1	371.9	43.2
10 月 10 日	20 世纪 50 年代	259.1	285.8	-26.7
10 月 10 日	20 世纪 60 年代	273.4	285.8	-12.4
10 月 10 日	20 世纪 70 年代	294.6	285.8	8.8
10 月 10 日	20 世纪 80 年代	270.6	285.8	-15.2
10 月 10 日	20 世纪 90 年代	291.0	285.8	5.2
10 月 10 日	21 世纪初	325.8	285.8	40.0
10 月 15 日	20 世纪 50 年代	202.3	228.4	-26.2
10 月 15 日	20 世纪 60 年代	218.2	228.4	-10.2
10 月 15 日	20 世纪 70 年代	239.3	228.4	10.9
10 月 15 日	20 世纪 80 年代	214.0	228.4	-14.4
10 月 15 日	20 世纪 90 年代	230.9	228.4	2.5
10 月 15 日	21 世纪初	265.7	228.4	37.3

3 讨论与结论

通过分析 60 年影响太原市平原区冬小麦播期的关键气候因子,得出如下结论:从培育壮苗所需冬前积温状况来看,太原市平原区冬小麦的适宜播期应为 9 月 13—24 日,而以 9 月 17—20 日为最佳播期;9 月 25 日至 10 月 5 日属晚播小麦对冬前积温的要求,尤其是 10 月 6 日以后播种,几乎不能形成冬前壮苗。

太原市平原区是山西省由一年一熟向一年二熟的过渡区。在实际生产中,常因前作收获较晚,冬小麦大部分播种在 9 月底 10 月初,冬前有效积温低于壮苗标准下限 $485^{\circ}\text{C} \cdot \text{d}$,只有加大播量,通过提高群体密度依靠主茎成穗获得高产。因此,山西省冬小麦品种试验方案要求山西中部晚熟冬麦区水地组基本苗为 375 万 ~ 450 万/ hm^2 ;而麦农的基本苗则更高,一般为 450 万 ~ 540 万/ hm^2 。

参考文献:

- [1] 北京农业大学农业气象专业. 农业气象学[M]. 北京:科学出版社,1982:156—161.
- [2] 黄义德、姚维传、李金才,等. 作物栽培学[M]. 北京:中国农业出版社,2002:311—323.
- [3] 杨晓光、刘志娟、陈 阜. 全球气候变暖对中国种植制度可能影响 I. 气候变暖对中国种植制度北界和粮食产量可能影响的分析[J]. 中国农业科学,2010,43(2):329—336.
- [4] 郝志新、郑景云、陶向新. 气候变暖背景下的冬小麦种植北界研究——以辽宁省为例[J]. 地理科学进展,2001,20(3):254—261.
- [5] 胡 实、莫兴国、林忠辉. 气候变化对海河流域主要作物物候和产量影响[J]. 地理研究,2014,33(1):3—12.
- [6] 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.
- [7] 李 艳、王式功、马玉霞. 全球气候变暖对我国小麦的影响研究综述[J]. 环境研究与监测,2006,19(2):11—13.
- [8] 李祎君、梁 宏、王培娟. 气候变暖对华北冬小麦种植界限及生育期的影响[J]. 麦类作物学报,2013,33(2):382—388.
- [9] 叶彩华、栾庆祖、高燕虎. 北京冬小麦生长期农业热量资源变化特征分析[J]. 安徽农业科学,2010,38(17):9072—9076.
- [10] 周焕新、邵方均、张士珍,等. 暖冬年小麦播期试验总结[J]. 上海农业科技,1998(5):28—30.
- [11] 崔彦生、韩江伟、曹 刚,等. 冬前积温对河北省中南部麦区冬小麦适宜播期的影响[J]. 中国农学通报,2008,24(7):195—198.
- [12] 郜庆炉、薛 香、梁云娟,等. 暖冬气候条件下调整小麦播种期的研究[J]. 麦类作物学报,2002,22(2):46—50.
- [13] 宋方超、张 燕、赵 莉,等. 气候变暖对沁水县冬小麦适播期的影响[J]. 河北农业科学,2015,19(6):101—105.
- [14] 山东农学院. 作物栽培学(北方本)[M]. 北京:农业出版社,1980:43.
- [15] 王树廷. 关于日平均气温稳定通过各级界限温度初终日期的统计方法[J]. 气象,1982,8(6):29—30.
- [16] 袁海燕、张晓煜、徐华军,等. 气候变化背景下中国农业气候资源变化 V. 宁夏农业气候资源变化特征[J]. 应用生态学报,2011,22(5):1247—1254.
- [17] 炎 皓. 太白近 50 年气温变化特征分析[J]. 农业网络信息,2011(12):24—27.
- [18] 张盛霖、邓高燕、黄勇奇. Mann-Kendall 检验法在 Excel 中的实现与应用[J/OL]. (2014-06-27)[2017-01-05]. <http://www.paper.edu.cn/releasepaper/content/201406-448>.