

冬季气候变暖对山西省冬小麦可种植区的影响

钱锦霞, 李娜, 韩普

(山西省气象决策服务中心, 太原 030006)

摘要: 基于山西省境内较为均匀分布的70个地面气象观测站1970-2012年冬季逐日气温资料, 采用线性倾向估计法分析了负积温、最冷月平均气温和年极端最低气温的变化特征, 采用累积距平法确定其突变点, 以突变点为界分为前后2个时间段, 依据前后时间段等值线的变化分析冬季气候变暖对山西省冬小麦可种植区的影响。结果表明: 山西省负积温呈现显著减少趋势(通过了 $\alpha = 0.01$ 的显著检验), 最冷月平均气温和年极端最低气温呈现不显著升高趋势; 突变后, 负积温平均减少了103.4℃, 最冷月平均气温和年极端最低气温分别升高了0.8℃和0.7℃; 在3个指标中, 决定山西省冬小麦能否种植的关键因子是负积温和年极端最低气温, 最冷月平均气温的影响较小; 冬季气候变暖后, 平均状况下, 冬小麦可种植区域面积扩大了约 $2.9 \times 10^6 \text{ hm}^2$, 扩大52%, 80%保证率下, 冬小麦种植面积扩大了约 $2.3 \times 10^6 \text{ hm}^2$, 扩大79%。

关键词: 气候变暖; 冬季; 可种植区; 冬小麦; 山西省

DOI: 10.11821/dlxb201405010

冬小麦是北方能够利用冬季光热资源的主要农作物, 但纬度偏北地区, 常常因冬季温度偏低、冬小麦难以越冬等而使其种植受到限制。IPCC第4次评估报告指出, 最近100年(1906-2005年), 全球地表平均温度上升了约0.74℃^[1]。在全球气候变暖背景下, 同期中国升温0.5~0.8℃^[2]。山西省的冬、春以及秋季增温幅度高于全国, 冬季升温最明显^[3]。21世纪气候变化趋势预测表明, 中国气候将继续变暖, 尤以北方冬半年最为明显^[4]。温度升高将使中高纬度地区热量资源增加, 农作物生长季延长, 农业种植界线向北移动^[5-7]。

山西省冬小麦主要种植在中、南部海拔700~1000 m的盆地区域, 北部为春小麦种植区^[8]。气候变暖为冬小麦种植面积的扩大提供了气候上的可能性。高志强等^[9]通过田间试验分析了北移后冬小麦生长发育和产量的变化; 李伟君等^[10]以年绝对最低气温和最冷月平均最低气温作为指标分析了气候变暖对华北冬小麦种植界限的影响; 郝志新等^[11]和刘文平等^[12]的研究结果表明, 气候变暖背景下冬小麦种植北界较过去北移了1~2个纬度。为了直观地掌握气候变暖背景下山西省冬小麦的可种植区域, 在前人研究的基础上, 本文选择冬季负积温、最冷月平均气温和年极端最低气温3个指标作为分析对象, 分别以3个指标的突变点为界分为前后2个时间段, 比较前后时段各指标等值线的变化, 以明确冬小麦可种植区域的变化, 对充分利用冬季光热资源、增加夏收作物产量具有重要意义。

1 资料与方法

1.1 资料

本文利用山西省境内较均匀分布的70个地面气象站1970-2012年逐日气温资料, 该资

收稿日期: 2014-02-10; 修订日期: 2014-03-19

基金项目: 山西省科技攻关项目 (20110311040-2); 山西省气象局科研项目 (SXKYBNY20147830) [Foundation: The Shanxi Scientific and Technological Project, No.20110311040-2; Shanxi Meteorological Bureau Project, No. SXKYBNY20147830]

作者简介: 钱锦霞 (1966-), 女, 山西平遥人, 高级工程师, 主要从事应用气象、气候变化方面的研究。
E-mail: qianjx@126.com

料来自山西省气象信息中心,经过了严格的质量控制(图1)。

1.2 指标

选择冬季负积温(即冬季低于0℃的日平均气温累积,本文用冬季负积温的绝对值表示,以下简称负积温)、最冷月平均气温(本文用1月平均气温代替)和年极端最低气温3个指标。

1.3 分析方法

1.3.1 变化特征分析 以70站平均代表全省平均序列。采用线性倾向估计法^[13]分析3个指标的变化趋势。年代划分采用1970-1979年为1970年代(简称70年代),1980-1989年为1980年代(简称80年代),1990-1999年为1990年代(简称90年代),2000-2009年为21世纪前10年(简称前10年),2010-2012年3年平均简称近3年。

1.3.2 突变特征分析 累积距平是常用的、由曲线直观判断变化趋势的方法,从曲线明显的上下起伏判断其长期的演变趋势,甚至还可以诊断发生突变的大致时间^[13]。本文采用该方法确定突变点。

1.3.3 冬小麦种植区域变化分析 以突变点将3个指标分别分为2个时间段,依据前后时段等值线的变化分析冬小麦可种植区域。具体分2种情况:

(1) 依据前后时间段多年平均等值线分析冬小麦可种植区域变化。

(2) 农业上确定作物可否种植至少要保证80%以上年份有比较可靠收成,通常的依据是积温达到80%以上保证率。本文以80%保证率等值线分析冬小麦可种植区的变化(以下称该区为可靠种植区)。

1.3.4 软件支持 用EXCEL结合Visual Basic编程完成资料统计计算;用Kriging插值法进行空间插值,借助ArcGis软件完成空间显示和面积的计算。

2 结果与分析

2.1 负积温特征分析

2.1.1 基本分布 山西省多年平均负积温在124.5~1385.9℃。从区域分布看(图2a),吕梁市东南部—太原市南部—晋中市中部—长治市北部一线以南区域的负积温基本少于500℃,忻州市西部—朔州市南部—忻州市东北部一线以北区域基本在800℃以上,朔州市北部可达1100℃以上,其余部分在500~800℃。总之,负积温分布呈现东西变化小、南北差异大,随着纬度的北上,负积温逐渐增加的分布格局,并在朔州市的右玉附近存在一个高值中心(1300℃以上)。

2.1.2 变化特征

(1) 时间变化 从全省平均负积温逐年变化曲线可以看出(图3a),负积温的倾向值为-35.5℃/10a(相关系数 $\gamma = -0.4835$),通过了 $\alpha = 0.01$ 的显著性检验,负积温以显著减少的趋势变化。1976年平均最多,为750.2℃,1998年最少,为367.8℃,相差382.4℃。从年

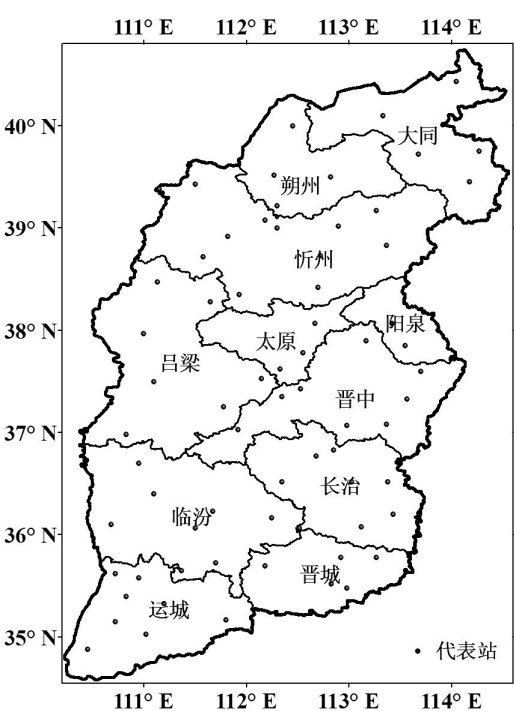


图1 代表气象站点分布

Fig. 1 The distribution of the representative stations

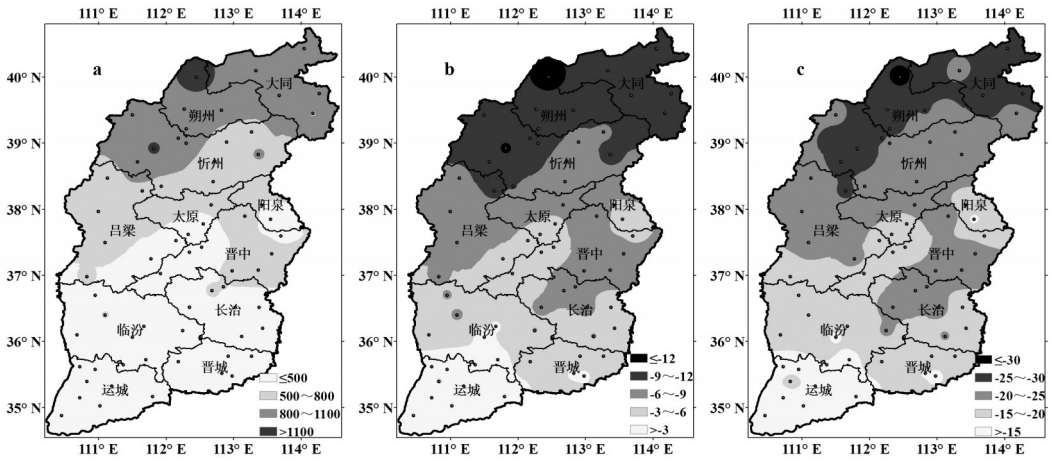


图2 山西省负积温 (a)、最冷月平均气温 (b) 和年极端最低气温 (c) 的空间分布 (°C)

Fig. 2 The distribution of the negative accumulated temperature in winter (a), average monthly temperature in January (b) and extreme minimum temperature (c) in Shanxi province (°C)

代际的变化可以看出，70年代最多，平均为610.6℃，其次为80年代，仅比70年代少约28℃，90年代比70年代少约105℃，近3年比70年代平均少44℃，平均最少的是前10年，比70年代少约118℃。同时，从图中可以明显看出，1987年之前，累积距平曲线基本为上升趋势，之后则相反，负积温的突变点出现在1987年，突变后，全省平均负积温减少了103.4℃。

(2) 变化趋势分布 从负积温的倾向值分布看(图4a)，山西省负积温的倾向值为-8~-78℃/10a，全省区域的负积温均表现出减少的趋势，即全省区域的负积温以8~78℃/10a的速率减少，大部分区域的减少速率在30~50℃/10a之间，而吕梁市和晋中市以南—长治市以西—晋城市西南—线以南区域的减少速率在30℃/10a以下，忻州市西部、朔州市东南部和大同市西南部区域的减少速率在50℃/

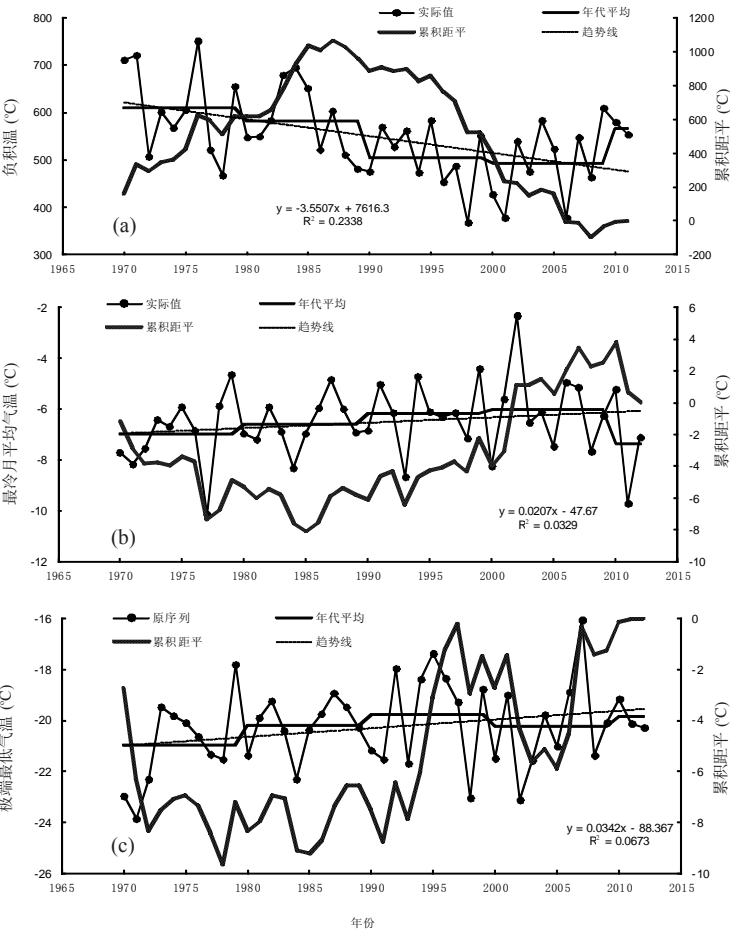


图3 山西省负积温 (a)、最冷月平均气温 (b) 和年极端最低气温 (c) 的逐年变化

Fig. 3 The variations of the negative accumulated temperature in winter (a), average monthly temperature in January (b) and extreme minimum temperature (c) in Shanxi province

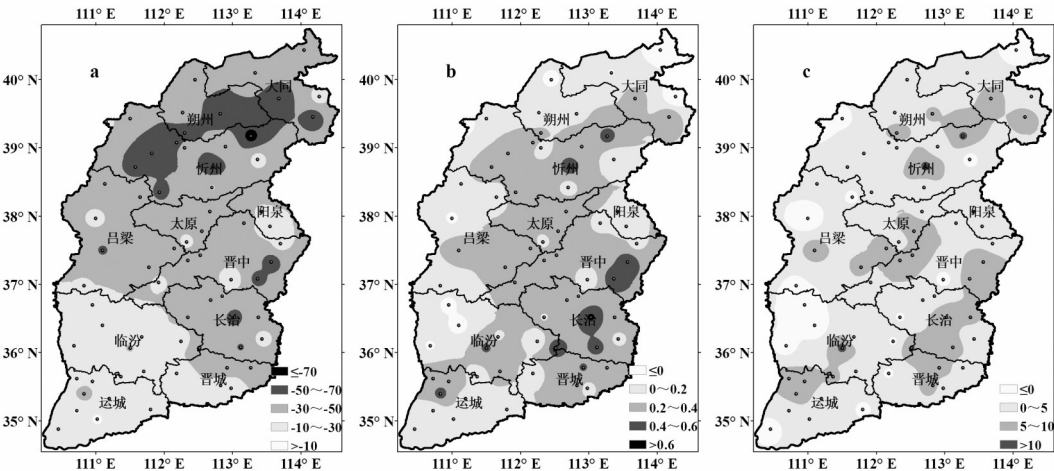


图4 山西省负积温 (a)、最冷月平均气温 (b) 和年极端最低气温 (c) 的倾向值分布 ($^{\circ}\text{C}/10\text{a}$)
Fig. 4 The change trend of the negative accumulated temperature in winter (a), average monthly temperature in January (b) and extreme minimum temperature (c) in Shanxi province ($^{\circ}\text{C}/10\text{a}$)

10a 以上, 甚至达到 $70\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 以上。经检验, 只有 15 个代表站的减少趋势未通过显著性检验(占总代表站的 21%), 约 80% 代表站的减少趋势通过了 $\alpha = 0.05$ 的显著性检验, 即山西省大部分区域的负积温显著减少。

由以上分析得出, 山西省负积温显著减少, 尤其北部减少明显, 这与高庆九等^[14]的研究结论一致; 负积温的突变点出现在 1987 年, 突变后, 全省平均负积温减少了 $103.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

2.2 最冷月平均气温特征分析

2.2.1 基本分布 从多年平均情况看, 山西省最冷月平均气温为 $-14.4 \sim -0.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。最冷月平均气温区域分布与负积温相似 (图 2b), 吕梁市东南部—太原市南部—晋中市中部—长治市中部—一线以南区域高于 $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$, 其中, 临汾市南部—晋城市西部—一线以南高于 $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$, 忻州市中西部—朔州南部—忻州市东北部—一线以北低于 $-9\text{ }^{\circ}\text{C}$, 在朔州北部存在低值中心。

2.2.2 变化特征

(1) 时间变化 从最冷月平均气温逐年变化曲线可以看出 (图 3b), 最冷月平均气温的倾向值为 $0.2\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ (相关系数 $\gamma = 0.181$), 未通过显著性检验, 最冷月平均气温以不显著升高的趋势变化。1977 平均最低, 为 $-10.1\text{ }^{\circ}\text{C}$, 2002 年最高, 为 $-2.4\text{ }^{\circ}\text{C}$, 相差约 $8\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。从年代际的变化可以看出, 前 4 个年代基本为逐年代升高, 升高的幅度在 $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以内, 而近 3 年低于前 4 个年代, 比 70 年代还低约 $0.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。同时, 从图中可以看出, 1985 年之前, 累积距平曲线在波动中下降, 1985 年之后, 在波动中上升, 突变点即为 1985 年, 突变后, 全省平均升高了 $0.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

(2) 变化趋势分布 最冷月平均气温的倾向值为 $-0.21 \sim 0.74\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 。从区域的分布看 (图 4b), 全省以升高趋势为主, 西部大部分区域的升温幅度 $< 0.2\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{a}$, 东部大部分区域的升温幅度在 $0.2 \sim 0.4\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 之间, 西部或北部零散分布的 11 个代表站为降低趋势, 占总代表站的 15.7%, 而东部或南部零散分布的 10 个代表站的升温幅度达到 $0.4\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 以上, 占总代表站的 14.3%。在升高的站点中, 共有 13 个代表站的升高趋势通过了 $\alpha = 0.05$ 及以上显著性检验, 占总代表站的 18.6%, 11 个代表站的降低趋势均未通过显著性检验。

总之, 最冷月平均气温整体表现为不显著升高的趋势; 约 19% 的代表站的升高趋势通过了 $\alpha = 0.05$ 的显著性检验; 最冷月平均气温的突变点出现在 1985 年, 突变后, 全省平均升高了 $0.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

2.3 年极端最低气温特征分析

2.3.1 基本分布 山西省年极端最低气温为 $-32.1\sim-11\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。从区域分布看(图2c), 吕梁市南部—太原市南部—晋中市中部—长治市中部—一线以南高于 -20°C , 其中运城市高于 -15°C ; 忻州市西部—朔州市东南部—大同市东南部—一线以北低于 -25°C , 与前2个指标一样, 也在朔州市北部存在低值中心。

2.3.2 变化特征

(1) 时间变化 由图3c可以看出, 年极端最低气温的倾向值为 $0.3^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ (相关系数 $\gamma = 0.259$), 未通过显著性检验, 年极端最低气温以不显著升高的趋势变化。1971年平均最低, 为 -23.8°C , 2007年最高, 为 -16.1°C , 相差约 8°C 。从年代际的变化可以看出, 70年代最低, 为 -21°C , 80年代比70年代平均偏高 1°C , 90年代比70年代平均偏高 1.2°C , 前10年比90年代有所下降, 仅比70年代平均偏高 0.7°C , 近3年比70年代平均偏高 1.1°C 。同时, 从图中可以看出, 累积距平曲线变化趋势与前2个指标有所不同, 但也可以明显分为2段, 1993年之前, 累积距平曲线基本在 -6°C 以下波动, 之后, 在 -6°C 以上波动, 据此, 本文以1993年为突变点, 突变后, 全省平均升高了 0.7°C 。

(2) 变化趋势分布 山西省年极端最低气温的倾向值为 $-5.2\sim 11.6^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 。从区域分布看(图4c), 全省基本以升高为主, 其中, 太原市、阳泉市和朔州市3地市的全区表现为一致的升高趋势, 但是, 在临汾市、吕梁市和忻州市的西部表现为降低的趋势(共16个代表站, 占总代表站的22.9%), 降低幅度达到 $5^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 之间。共有12个代表站的升温幅度通过了 $\alpha = 0.05$ 及以上显著性检验, 占总代表站的17%, 年极端最低气温降低的站点均未通过显著性检验。

总之, 年极端最低气温整体表现为不显著升高的趋势变化, 有17.1%的代表站升高趋势通过了 $\alpha = 0.05$ 的显著性检验; 突变时间晚于前2个指标, 出现在1993年, 突变后, 全省平均升高了 0.7°C 。

2.4 冬小麦种植区域的变化

越冬期负积温 -500°C 的等温线构成了冬小麦种植北界和海拔高度的上界^[15], 我国多数研究者以1月平均气温 $-8\sim-10^{\circ}\text{C}$, 年极端最低气温在 $-22\sim-24^{\circ}\text{C}$ 为冬小麦种植北界^[16], 可见, 这3个指标是决定某地冬小麦能否种植和安全越冬的主要限制因子。本文中, 最冷月平均气温取 -8°C , 年极端最低气温取 -22°C 。

图5为突变前后平均和80%保证率下负积温低于 500°C 、最冷月平均气温高于 -8°C 和年极端最低气温高于 -22°C 区域的变化情况。

2.4.1 负积温变化对冬小麦种植区域的影响 在平均状况下, 突变前, 负积温低于 500°C 的区域为临汾市西北部—太原盆地—长治市西南部—一线(图5a1), 突变后, 该区域扩大到吕梁市中部—太原市中部—晋中市北部—阳泉市西北部—一线, 与突变前相比, 突变后负积温低于 500°C 区域的面积扩大了约 $3.0\times 10^6\text{ hm}^2$, 扩大52%。80%保证率下(图5b1), 突变前, 负积温低于 500°C 的区域为临汾市中部—晋城市中部—一线, 突变后, 该区域扩大到临汾市中部—太原盆地—长治市中部, 该区面积扩大了约 $2.7\times 10^6\text{ hm}^2$, 扩大92%。突变前后有2个区域的变化较为显著: 太原盆地和长治市南部, 其中, 太原盆地由突变前的平均低于 500°C 或高于 500°C 变为80%的年份都可低于 500°C 。

由以上分析得出, 负积温突变后, 中南部负积温减少, 可种植冬小麦的区域扩大, 单从这一指标来看, 冬小麦可能种植面积增加了约 $3.0\times 10^6\text{ hm}^2$, 增加52%, 可靠种植面积增加了约 $2.7\times 10^6\text{ hm}^2$, 增加92%。

2.4.2 最冷月平均气温变化对冬小麦种植区域的影响 与负积温 500°C 相比, 最冷月平均气温高于 -8°C 区域的变化较小(图5a2)。突变前, 山西省中、南部大部分区域的最冷月平均气温均高于 -8°C , 突变后, 仅在晋中市东部、吕梁市北部、太原市西北部和忻州市中

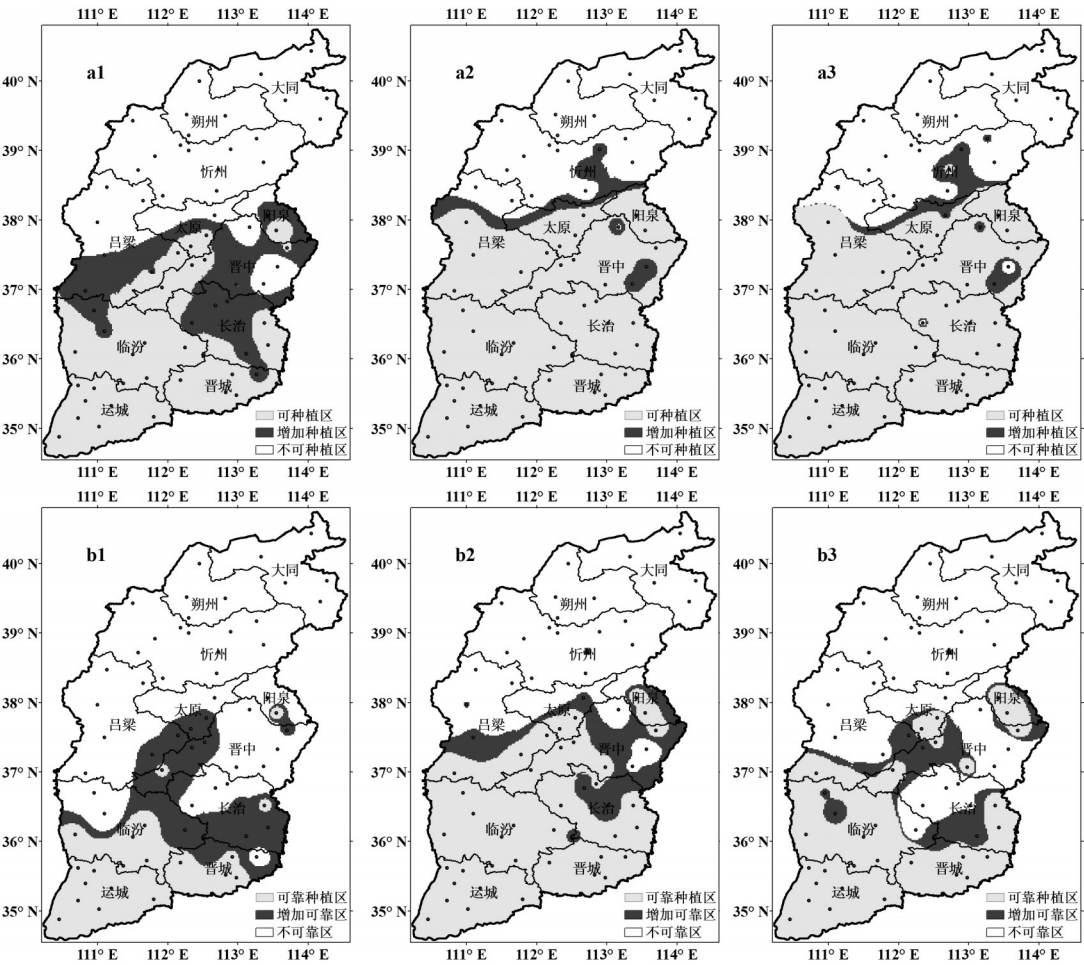


图5 山西省负积温、最冷月平均气温和年极端气温突变前后平均 (a1、a2、a3) 和 80%保证率下 (b1、b2、b3) 冬小麦可种植区域变化

Fig. 5 The variations of the winter wheat cultivable area concerned with the negative accumulated temperature in winter, average monthly temperature in January and extreme minimum temperature in Shanxi province

东部一条相对较窄的区域有所扩大, 扩大了约 $8.9 \times 10^5 \text{ hm}^2$, 扩大9%。80%保证率下 (图 5b2), 扩大的区域主要体现在中东部和吕梁市中部, 突变后比突变前扩大了约 $1.7 \times 10^6 \text{ hm}^2$, 扩大24%。

由以上分析得出, 最冷月平均气温满足冬小麦种植的区域也有所扩大, 单从这一指标来看, 突变后, 冬小麦可能种植面积增加了约 $8.9 \times 10^5 \text{ hm}^2$, 增加9%, 可靠种植面积增加了约 $1.7 \times 10^6 \text{ hm}^2$, 增加24%。

2.4.3 年极端最低气温变化对冬小麦种植区域的影响 从图 5 (a3、b3) 可以看出, 平均状况下, 年极端最低气温低于 -22°C 区域变化较小, 突变后仅比突变前扩大约 $7.4 \times 10^5 \text{ hm}^2$, 扩大8%。80%保证率下, 扩大的区域也仅体现在长治市中部和太原盆地, 扩大的面积约 $1.6 \times 10^6 \text{ hm}^2$, 扩大29%。

可见, 年极端最低气温满足冬小麦种植的区域同样有所扩大, 单从这一指标来看, 突变后冬小麦可能种植面积扩大了约 $7.4 \times 10^5 \text{ hm}^2$, 扩大8%, 可靠种植面积扩大了 $1.6 \times 10^6 \text{ hm}^2$, 扩大29%。

2.4.4 冬季气候变暖对冬小麦种植区域的影响 从平均状况看, 负积温条件满足的区域

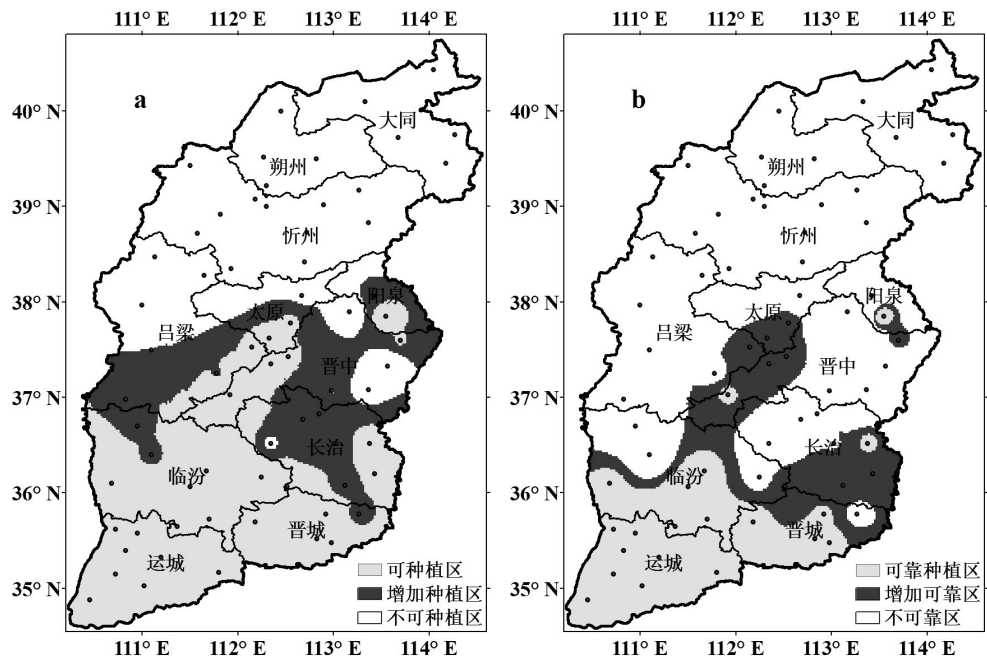


图6 冬小麦可种植区域变化

Fig. 6 The variations of the winter wheat cultivable area in Shanxi province

最冷月平均气温和极端最低气温均可满足，而在80%保证率下，最冷月平均气温的影响较小，临汾西北部、吕梁西南部区域因负积温不满足条件而无法种植，长治市西北部则因负积温和年极端最低气温均不能满足而无法种植，因此，说明负积温和年极端最低气温是决定山西省冬小麦种植的主要限制因子。

综合考虑负积温和年极端最低气温2个主要限制因子，得出冬小麦可种植区域(图6)，平均状况下的情况基本与负积温接近(图6a)，突变后，冬小麦可能种植面积扩大约 $2.9\times10^6\text{ hm}^2$ ，扩大52%；80%保证率下(图6b)，突变前，冬小麦可靠种植区为临汾市中部—晋城市北部一线以南区域，突变后，扩大到太原盆地和长治市东南部，冬小麦可靠种植面积扩大了 $2.3\times10^6\text{ hm}^2$ ，扩大79%。

3 结论与讨论

3.1 结论

(1) 在冬季气候变暖的大背景下，山西省负积温的倾向值为 $-35.5\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ ，通过了 $\alpha = 0.01$ 的显著性检验，即负积温呈现显著减少趋势，最冷月平均气温和年极端最低气温呈现不显著升高趋势。

(2) 负积温、最冷月平均气温和年极端最低气温的突变点分别出现在1987年、1985年和1993年，突变后，全省平均负积温减少了 $103.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，最冷月平均气温和年极端最低气温分别升高了 $0.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $0.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

(3) 全省区域的负积温均表现出减少趋势，大部分区域减少显著，其中北部大部分区域减少 $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上，减少程度大于中、南部；最冷月平均气温和年极端最低气温升高的区域主要在中东部或东部。

(4) 决定冬小麦能否种植和安全越冬的3个主要热量指标中，最冷月平均气温影响较小，负积温和年极端最低气温具有决定性作用；冬季气候变暖后，山西省冬小麦可能种植

面积增加约 $2.9 \times 10^6 \text{ hm}^2$, 增加 52%, 可靠种植面积增加约 $2.3 \times 10^6 \text{ hm}^2$, 增加 79%, 同时使南部种植冬小麦的安全性增加。

通过上述分析, 可以量化地了解冬季气候变暖后山西省冬小麦可种植区的变化情况。

3.2 讨论

本研究详细分析了决定冬小麦能否安全越冬的 3 个主要热量指标, 得出了冬季气候变暖背景下, 山西省部分区域具备了种植冬小麦的热量条件。从分析结果看, 山西省冬小麦的可种植区域明显小于李祎君等的研究结果, 主要原因是该文考虑了负积温的影响。但本研究也只从影响冬小麦种植的 3 个热量指标进行了讨论分析, 降水等气象条件在冬小麦的生产过程中也具有重要作用, 尤其对于地形复杂的山西来说, 虽然当地的热量条件可以满足冬小麦生长的需要, 由于受到水分条件的制约, 冬小麦仍未达到规模生产的水平。最新研究表明^[7], 干旱是 1990 年以来发生频率最高的灾害类型, 因此, 决定冬小麦在某地是否可以种植还需综合考虑如水分等其他因素。另外, 冬小麦的抗旱性会随着种植环境条件的变化而发生变化, 冬季气候变暖使冬小麦耐寒锻炼时间减少, 其品种的抗寒性随区域冬季温度的上升而减弱, 遇有强冷空气侵袭, 造成的冻害会更大, 这些因素均需在进行冬小麦大规模北移时慎重考虑。

参考文献 (References)

- [1] IPCC. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.
- [2] Qin Dahe, Ding Yihui, Su Jilan et al. Assessment of climate and environment change in China (I): Climate and environment changes in China and their projection. *Advances in Climate Change Research*, 2005, 1(1): 4-9. [秦大河, 丁一汇, 苏纪兰 等. 中国气候与环境演变评估(I): 中国气候与环境变化及未来趋势. 气候变化研究进展, 2005, 1(1): 4-9.]
- [3] Miao Aimei, Wu Jie, Jia Lidong. The research of air temperature variation characteristics and trend during 1958-2008. *Advances in Earth Science*, 2010, 25(3): 264-272. [苗爱梅, 武捷, 贾利冬. 1958-2008 年山西气温变化的特征及趋势研究. 地球科学进展, 2010, 25(3): 264-272.]
- [4] Ding Yihui, Ren Guoyu, Shi Guangyu et al. National assessment report of climate change (I): Climate change in China and its future trend. *Advances in Climate Change Research*, 2006, 2(1): 3-8. [丁一汇, 任国玉, 石广玉 等. 气候变化国家评估报告(I): 中国气候变化的历史和未来趋势. 气候变化研究进展, 2006, 2(1): 3-8.]
- [5] Han Xiangling. *Agroclimatology*. Taiyuan: Shanxi Science and Technology Press, 1999: 241-263. [韩湘玲. 农业气候学. 太原: 山西科学技术出版社, 1999: 241-263.]
- [6] Xu Bin, Xin Xiaoping, Tang Huajun et al. The influence and strategy of global climate change to agricultural geographical distribution. *Progress in Geography*, 1999, 18(4): 316-321. [徐斌, 辛晓平, 唐华俊 等. 气候变化对我国农业地理分布的影响及对策. 地理科学进展, 1999, 18(4): 316-321.]
- [7] Yang Xiaoguang, Liu Zhijuan, Chen Fu. The possible effects of global warming on cropping systems in China: I. The possible effects of climate warming on northern limits of cropping systems and crop yields in China. *Scientia Agricultura Sinica*, 2010, 43(2): 329-336. [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. 中国农业科学, 2010, 43(2): 329-336.]
- [8] Tian Zhigang, Gao Qing, Yang Guang. Analysis on the current status of and existing problems in the wheat production of Shanxi province. *Sci/tech Information Development & Economy*, 2013, 23(17): 139-141. [田志刚, 高涛, 杨光. 山西省小麦生产现状及存在问题分析. 科技情报开发与经济, 2013, 23(17): 139-141.]
- [9] Gao Zhiqiang, Miao Guoyuan, Zhang Guohong et al. Analysis of growth, development and yield compositions of winter wheat growing in original and northern region. *Scientia Agricultura Sinica*, 2003, 36(1): 31-36. [高志强, 苗果园, 张国红 等. 北移冬小麦生长发育及产量构成因素分析. 中国农业科学, 2003, 36(1): 31-36.]
- [10] Li Yijun, Liang Hong, Wang Peijuan. Effects of climate warming on the planting boundary and developmental stages of winter wheat. *Journal of Triticeae Crops*, 2013, 33(2): 382-388. [李祎君, 梁宏, 王培娟. 气候变暖对华北冬小麦种植北界及生育期的影响. 麦类作物学报, 2013, 33(2): 382-388.]
- [11] Zhen Zhixin, Zhen Jingyun, Tao Xiangxin. A study on northern boundary of winter wheat during climate warming: A case study in Liaoning province. *Progress in Geography*, 2001, 20(3): 254-261. [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. 地理科学进展, 2001, 20(3): 254-261.]

- [12] Liu Wenping, Guo Muping, An Wei et al. Influence of climatic change on winter wheat cropping system in Shanxi. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2009, 23(11): 88-93. [刘文平, 郭慕萍, 安伟 等. 气候变化对山西省冬小麦种植的影响. *干旱区资源与环境*, 2009, 23(11): 88-93.]
- [13] Wei Fengying. *Modern Climate Statistical Diagnosis and Prediction Technology*. 2nd ed. Beijing: China Meteorological Press, 2007: 37-41, 43-44. [魏凤英. *现代气候统计诊断与预测技术*. 2版. 北京: 气象出版社, 2007: 37-41, 43-44.]
- [14] Gao Qingjiu, Zhang Rong, Guan Zhaoyong. Characteristics of the negative accumulated temperature change in North China in recent 50 years. *Transactions of Atmospheric Sciences*, 2012, 35(4): 448-457. [高庆九, 张荣, 管兆勇. 近50a来华北地区负积温变化特征. *大气科学学报*, 2012, 35(4): 448-457.]
- [15] Liu Dexiang, Dong Anxiang, Lu Dengrong. Climatic change of Northwest China and its influence on agricultural production in recent 43 years. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2005, 23(2): 195-201. [刘德祥, 董安祥, 陆登荣. 中国西北地区近43年气候变化及其对农业生产的影响. *干旱地区农业研究*, 2005, 23(2): 195-201.]
- [16] Gong Shaoxian. *Crop and Weather*. Beijing: China Meteorological Press, 1988: 82-83. [龚绍先. *粮食作物与气象*. 北京: 气象出版社, 1988: 82-83.]
- [17] Zhang Zhao, Wang Pin, Chen Yi et al. Spatio-temporal changes of agrometeorological disasters for wheat production across China since 1990. *Acta Geographica Sinica*, 2013, 68(11): 1453-1460. [张朝, 王品, 陈一 等. 1990年以来中国小麦农业气象灾害时空变化特征. *地理学报*, 2013, 68(11): 1453-1460.]

Influence of climate warming in winter on the winter wheat cultivable area in Shanxi Province

QIAN Jinxia, LI Na, HAN Pu

(Shanxi Meteorological Service Center for Decision Making, Taiyuan 030006, China)

Abstract: Based on the daily mean temperature data of 70 meteorological stations in Shanxi Province from 1970 to 2012, the negative accumulated temperature in winter, average monthly temperature in January and extreme minimum temperature were computed and their changing trends were analyzed in this paper using linear trend estimation method, and their abrupt change points were observed by means of accumulated variance method and contours of the negative accumulated temperature in winter, average monthly temperature in January and extreme minimum temperature were compared respectively after being divided into two groups according to the abrupt change points. The results showed that the negative accumulated temperature in winter showed a remarkable decrease, and the average monthly temperature in January and extreme minimum temperature did not increase significantly. Changes were found between the two groups, the negative accumulated temperature decreased by 103.4°C , and the average monthly temperature in January and extreme minimum temperature rose by 0.7°C and 0.9°C , respectively. The negative accumulated temperature and extreme minimum temperature played a key role, which are the thresholds that the winter wheat Province could be planted or not. Under climatic warming, the winter wheat cultivable area and the reliable planting area expanded by $2.9 \times 10^6 \text{ hm}^2$ (increased by 52%) and $2.3 \times 10^6 \text{ hm}^2$ (rose by 79%), respectively.

Key words: climatic warming; winter; cultivable area; winter wheat; Shanxi Province