

# 地面及作物耕作层温度对气候变暖的响应

马胜萍<sup>1</sup>, 宗艳伟<sup>1</sup>, 高翔<sup>2</sup> (1. 兰州资源环境职业技术学院, 甘肃兰州 730021; 2. 华山气象站, 陕西渭南 714200)

**摘要** 利用气候倾向率、标准偏差方法, 划分基准年, 研究 1952~2010 年地面、耕作层温度变化特征。结果表明: 年平均地面温度、农作物生长季地面和耕作层温度呈升高趋势, 气候倾向率分别为 0.395、0.304、0.206 °C/10 年。冬季、春季对年平均地面温度升高的贡献最大, 气候倾向率分别为 0.535、0.521 °C/10 年; 夏季、秋季贡献较小, 气候倾向率分别为 0.223、0.291 °C/10 年。第Ⅲ基准年升温最剧烈。研究结果可为该地区农业生产结构调整、生态环境治理等提供参考。

**关键词** 地面温度; 耕作层温度; 倾向率; 辽宁西部

**中图分类号** S161.2 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2013)27-10992-03

## Response of Ground and Crop Cultivation Layer Temperature to Climate Warming

MA Sheng-ping et al (Lanzhou Resources and Environment Voc-tech College, Lanzhou, Gansu 730021)

**Abstract** The variation characteristics of the surface and plow layer temperature during 1952—2010 in west region of Liaoning Province were studied using the climate tendency rate and standard deviation based on the reference windows of data. The results showed that the annual mean surface temperature and the mean temperatures of the surface and plow layer in growing season were all with increasing tendency. The climate tendency rates were 0.395 °C/10a, 0.304 °C/10a and 0.206 °C/10a respectively. The fast increasing rate occurred in winter and spring, with the climate tendency rate of 0.535 °C/10a and 0.521 °C/10a respectively. Slow increasing rate occurred in summer and autumn, with the climate tendency rate of 0.223 °C/10a and 0.291 °C/10a respectively. The recording in the third window was with the fastest increase among the data. These results can provide the reference for the structural readjustment of agricultural production and the ecological environment governance and so on in this region.

**Key words** Surface temperature; Plow layer temperature; Tendency rate; West region of Liaoning Province

随着气候变暖, 土壤表层温度也发生变化。这种变化影响土壤理化性质、生物学过程和热能交换等, 并且改变土壤资源质量, 从而影响农业生态环境<sup>[1-2]</sup>。近些年, 有专家学者开展了有关地温变化的研究<sup>[3-4]</sup>, 发现在气候变暖环境下不同区域地温存在不同的响应<sup>[5-7]</sup>。张慧智等<sup>[8]</sup>研究我国土壤温度变化时得出, 土壤温度的季节变化在不同区域之间存在显著差异。周绍毅等<sup>[9]</sup>研究表明, 广西浅层不同深度年平均温度呈升温趋势, 并与气温、降水量密切相关。王春玲等<sup>[10]</sup>认为, 郑州地区 0~20 cm 地温呈持续升高趋势, 年平均地温与冬小麦各发育期均呈负相关, 且与冬小麦产量正相关。由于作物的根系生长在土壤中, 土壤温度的高低对作物生长的影响比气温更加直观<sup>[11]</sup>。姜鹏等<sup>[12-13]</sup>对辽宁地表温度和辽河流域土壤热通量变化进行了探讨。因此, 研究不同时间尺度上土壤温度变化特征, 有助于揭示土壤温度对农业生产和生态环境的影响<sup>[14]</sup>, 对地区农业生产具有重要指导意义。笔者采用近 60 年浅层地温资料, 对辽宁西部地区地面、耕作层温度变化特征进行讨论, 为合理利用气候资源和农业生产结构调整、生态环境治理提供理论基础。

## 1 材料与方法

**1.1 资料来源** 资料选自 1952~2010 年辽宁西部的朝阳、叶柏寿、喀左、凌源、北票、羊山气象站, 包括气温、地面温度、地面最高温度、地面最低温度以及农作物耕作层 5、10 和 20 cm 温度。采用气候相似差值法延长该区域内喀左、凌源、北票、羊山资料至 1952 年, 与朝阳、叶柏寿等长序列。

**1.2 分析方法** 按照基准年(30 年)时间序列, 分析不同时

间尺度的气候倾向率。基准年按照 30 年时间尺度以年代为单位滑动, 第 I 基准年 1952~1980 年(因观测资料从 1952 年开始, 故第 I 基准年取 29 年), 第 II 基准年 1961~1990 年, 第 III 基准年 1971~2000 年, 第 IV 基准年 1981~2010 年。根据辽宁西部大田农作物生产期一般为 4~10 月, 选择统计 4~10 月为生长季资料。

气候倾向率<sup>[15]</sup>可反映气候要素变化趋势, 由一元线性方程  $y(t) = a_0 + a_1 t$ ,  $dy(t)/dt = a_1$  获得,  $a_1 \cdot 10$  为气候倾向率, 方程中的系数用最小二乘法确定,  $y$  为气象要素,  $t$  为年序列号( $t = 1952, 1953, 1954, \dots, 2011$  年)。

依据标准偏差<sup>[16]</sup>作为异常标准, 分析地温异常特征。标准偏差公式为:

$$S = [\sum (y_i - \bar{y})^2 / N]^{1/2}$$

式中,  $S$  为标准偏差;  $y_i - \bar{y}$  为历年值减总体平均数;  $N$  为样本数。

## 2 结果与分析

### 2.1 地面温度变化特征

**2.1.1 地面温度年变化。** 辽宁西部近 60 年年地面平均温度为 10.5 °C, 地面平均最高温度为 29.2 °C, 平均最低为 7.5 °C; 地面极端最高温度为 69.7 °C(2000 年), 极端最低温度为 -40.0 °C(1990 年)。地面年平均温度标准偏差为  $\pm 1.0$  °C, 正常值为 9.5~11.5 °C, 偏高年份有 11 年(1994、1997、1998、1999、2001、2002、2003、2004、2006、2007 和 2009 年), 均发生在 20 世纪 90 年代之后; 偏低年份有 8 年(1954、1956、1957、1969、1970、1974、1976 和 1985 年), 均发生在 20 世纪 80 年代之前。由图 1 可知, 地面平均温度呈上升趋势, 气候倾向率为 0.395 °C/10 年, 序列相关系数为 0.687 3( $P < 0.01$ ), 达到极显著水平, 平均每 10 年升高 0.4 °C。从年代平均值比较来看, 20 世纪 50 年代平均值最低为 9.7 °C, 21 世纪 10 年代

平均值最高为 11.6 °C, 平均相差 1.9 °C。

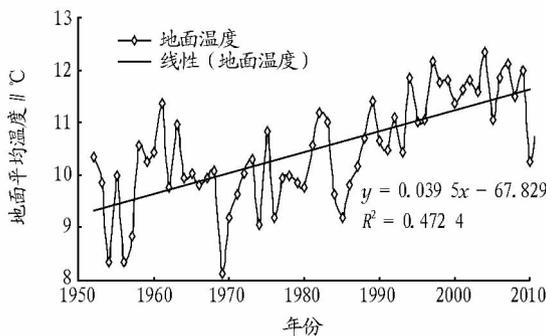


图 1 年平均地面温度历年变化趋势

不同时间段地面温度变化趋势有所不同。由表 1 可知, 延着基准年的滑动, 地面平均温度逐渐升高, 其中第 IV 基准年比第 I 基准年平均高 1.2 °C。第 I 基准年地面温度有微弱的升高趋势; 第 II 基准年呈升高趋势, 每 10 年平均升高 0.3 °C; 第 III 基准年呈 0.01 水平显著升高趋势, 每 10 年平均升高 0.8 °C; 第 IV 基准年呈显著升高趋势, 每 10 年平均升高 0.5 °C; 第 III 基准年序列相关最显著。分析结果表明, 进入 20 世纪 80 年代地面温度升高明显, 与该区域气温升高的趋势相吻合<sup>[16]</sup>。

表 1 不同基准年地面平均温度气候倾向率变化

序号	基准年	线性方程	倾向率 °C/10 年	相关系数	平均值 °C
I	1952~1980	$y = 0.006 6x - 3.210 6$	0.066	0.077 5	9.8
II	1961~1990	$y = 0.026 7x - 42.654$	0.267	0.334 5*	10.0
III	1971~2000	$y = 0.077 4x - 142.67$	0.774	0.759 3**	10.6
IV	1981~2010	$y = 0.051 9x - 92.441$	0.519	0.579 0**	11.1

注: \*\*  $P < 0.01$ ; \*  $P < 0.05$ 。

**2.1.2 地面温度四季变化。**由表 2 可知, 冬季、春季地面温度升高趋势明显, 每 10 年平均升高 0.5 °C, 标准偏差为  $\pm 1.5$  °C, 冬季正常值为  $-9.8 \sim -6.8$  °C, 春季正常值为  $11.6 \sim 14.6$  °C; 秋季地面温度升高趋势明显, 每 10 年平均升高 0.3 °C, 标准偏差为  $\pm 1.0$  °C, 正常值在  $9.2 \sim 11.2$  °C 之间; 夏季地面温度的升高趋势明显, 每 10 年平均升高 0.2 °C, 标准偏差为  $\pm 1.2$  °C, 夏季地面温度正常值为  $25.8 \sim 28.2$  °C。各季都通过显著水平检验, 春季序列相关最显著。

表 2 四季地面平均温度气候倾向率

季节	线性方程	倾向率 °C/10 年	相关系数	平均值 °C
冬季	$y = 0.053 5x - 114.44$	0.535	0.598 9**	-8.3
春季	$y = 0.052 1x - 90.205$	0.521	0.604 7**	13.1
夏季	$y = 0.022 3x - 17.202$	0.223	0.332 1*	27.0
秋季	$y = 0.029 1x - 47.372$	0.291	0.503 4**	10.2

注: \*\*  $P < 0.01$ ; \*  $P < 0.05$ 。

**2.1.3 地面温度生长季变化。**辽宁西部地区 60 年生长季地面温度平均为 21.1 °C, 平均最高温度为 40.3 °C, 平均最低温度为 9.6 °C, 平均极差为 30.7 °C。由图 2 可知, 作物生长季地面温度历年变化呈明显的上升趋势, 气候倾向率为  $0.304$  °C/10 年, 序列相关系数为 0.551 1 ( $P < 0.01$ ), 达到

0.01 显著水平, 每 10 年升高 0.3 °C, 截至 21 世纪 10 年代作物生长季地面温度升高约 1.8 °C。

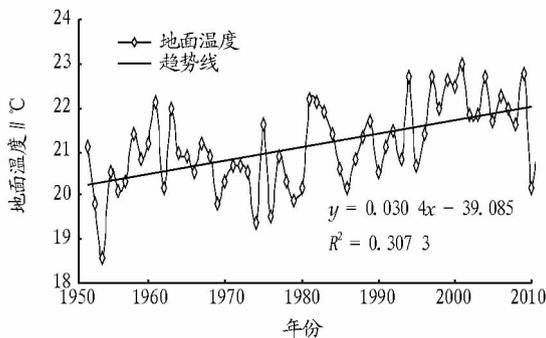


图 2 农作物生长季(4~10月)地面温度变化趋势

由表 3 可知, 延着基准年滑动的农作物生长季地面平均温度均存在升高趋势, 其中第 IV 基准年比第 I 基准年平均高 0.8 °C。第 III 基准年呈 0.01 水平显著升高趋势, 为 4 个基准年升温幅度最大的时间段, 每 10 年平均升高约 0.7 °C; 第 IV 基准年呈显著升高趋势, 每 10 年平均升高 0.4 °C。第 III、IV 基准年序列相关显著, 第 I、II 基准年序列相关不显著。

表 3 不同基准年农作物生长季地面平均温度气候倾向率变化

序号	基准年	线性方程	倾向率 °C/10 年	相关系数	平均值 °C
I	1952-1980	$y = -0.014x + 46.387$	0.140	0.182 5	18.8
II	1961-1990	$y = 0.0063x + 6.359 5$	0.063	0.060 8	18.8
III	1971-2000	$y = 0.067 4x - 114.75$	0.674	0.675 1**	19.2
IV	1981-2010	$y = 0.035 1x - 50.543$	0.351	0.4271**	19.6

注: \*\*  $P < 0.01$ ; \*  $P < 0.05$ 。

作物生长季地面温度标准偏差为  $\pm 1.0$  °C, 正常值为  $20.1 \sim 22.1$  °C。偏高年份有 9 年, 其中有 8 年发生在 20 世纪 90 年代之后; 偏低年份有 7 年, 均发生在 20 世纪 60、70 年。从年代平均值比较来看, 20 世纪 50、70 年代最低平均为 20.4 °C, 21 世纪 10 年代最高平均为 22.0 °C, 平均相差 1.6 °C。

**2.2 作物生长季耕作层温度变化特征** 作物生长季(4~10月)耕作层 5、10 和 20 cm 的历年平均温度分别为 19.6、19.2 和 18.8 °C, 不同层次间相差 0.4 °C, 纵向温度呈等差。耕作层(5~20 cm)平均温度为 19.2 °C, 最高值出现在 2004 和 2009 年, 为 20.7 °C, 最低值出现在 1974 年, 为 17.5 °C, 极差为 3.2 °C。由图 3 可知, 作物生长季耕作层温度历年变化呈明显的上升趋势, 气候倾向率为  $0.206$  °C/10 年; 序列相关系数为 0.453 4, 达到 0.01 显著水平, 每 10 年升高 0.2 °C, 截至 21 世纪 10 年代作物生长季耕作层温度升高约 1.2 °C。

由表 4 可知, 延着基准年的滑动, 农作物生长季耕作层温度均存在升高趋势, 其中第 IV 基准年比第 I 基准年平均高 1.1 °C。第 I、II 基准年耕作层温度有微弱升高的趋势; 每 10 年平均升高 0.1 °C; 第 III 基准年呈 0.01 水平显著升高的趋势, 为 4 个基准年升温幅度最大的时段, 每 10 年平均升高 0.6 °C; 第 IV 基准年呈 0.01 显著升高趋势, 每 10 年平均升高 0.3 °C。第 I、II 基准年序列相关不显著, 第 III、IV 基准年序列相关显著。

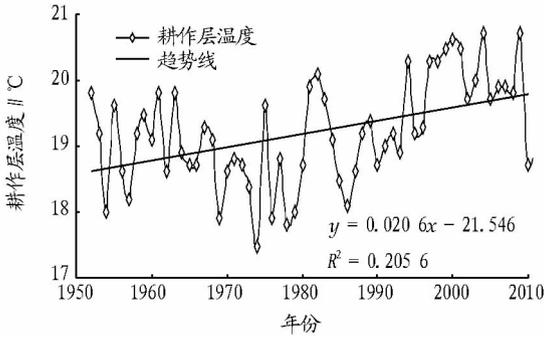


图3 农作物生长季(4~10月)耕作层温度变化趋势

表4 不同基准年农作物生长季耕作层温度气候倾向率变化

序号	基准年	线性方程	倾向率 ℃/10年	相关系数	平均值 ℃
I	1952~1980	$y = 0.0125x - 3.8404$	0.125	0.1345	20.6
II	1961~1990	$y = 0.0147x - 8.2549$	0.147	0.1741	20.8
III	1971~2000	$y = 0.0714x - 120.59$	0.714	0.6420**	21.2
IV	1981~2010	$y = 0.0306x - 39.409$	0.306	0.3360*	21.7

注: \*\*  $P < 0.01$ ; \*  $P < 0.05$ 。

作物生长季耕作层温度标准偏差为  $\pm 0.8$  °C, 正常值在 18.4~20.0 °C 之间, 偏高年份有 9 年, 其中有 8 年发生在 20 世纪 90 年代之后; 偏低年份有 8 年, 均发生在 20 世纪 80 年代之前。从年代平均值比较来看, 20 世纪 80 年代平均值最低为 18.4 °C, 21 世纪 10 年代平均值最高为 20.0 °C, 平均相差 1.6 °C。

### 3 结论

(1) 辽宁西部地区地面温度存在明显的上升趋势, 不同基准年上升的幅度差异较大。20 世纪 50、60、70 年代地面温度变化平稳且较低, 地面温度偏低年份多出现在这个时期。从 20 世纪 80 年代之后地面温度升高, 第 III 基准年气候倾向率最突出, 每 10 年地面温度升高 0.8 °C; 1981~2010 年是偏高出现的主要时期, 每 10 年地面温度升高 0.5 °C。

(2) 在气候变暖的形势下, 春夏秋冬四季地面温度各有不同的响应<sup>[17]</sup>。冬季和春季冷凉季节地面温度上升较突出, 主导年平均地面温度变化的主要趋势, 夏季和秋季虽有升高趋势, 但增幅较小, 对地面温度上升贡献相对较小。冬、春、秋季地面温度偏高年份集中出现在近 20 年(1990~2010 年), 而偏低年份集中出现在 20 世纪 80 年代之前。

(3) 作物生长季地面温度的升温速率小于年地面温度的升温速率。生长季地面温度偏高时期集中出现在 1990~2010 年的近 20 年内, 而偏低时期则出现在 1980 年之前, 出

现时段分界较清晰, 20 世纪 80 年代则成为地面温度由低变高的转折时期。第 III 基准年的生长季地面温度的变化幅度最大, 每 10 年升高 0.7 °C。

(4) 作物生长季耕作层温度变化呈升高趋势, 但小于地面温度变化速率, 其气候倾向率为 0.206 °C/10 年。第 III 基准年也是耕作层温度变化最强烈时段, 每 10 年升高 0.7 °C。生长季耕作层温度偏高时段有 89% 出现在 20 世纪 90 年代之后。这与地面温度变化相一致, 偏低时段有 63% 出现在 20 世纪 80 年代, 出现时间上比地面滞后, 最低值出现在 80 年代。

### 参考文献

- [1] 史学正, 邓西海. 我国土壤温度状况[M]. 北京: 科学出版社, 1993: 353-360.
- [2] 程建峰, 潘晓云, 刘宜柏. 土壤条件对陆稻根系生长的影响[J]. 土壤学报, 2002, 39(4): 590-598.
- [3] 王国坤, 白洪英. 1979—2008 年泊头市地面及浅层地温变化趋势分析[J]. 资源与环境科学, 2012(11): 230-232.
- [4] 贾庆宇, 周广胜. 盘锦芦苇湿地土壤温度剖面特征分析[J]. 中国农学通报, 2011, 27(1): 318-322.
- [5] 杨梅学, 姚檀栋, 丁永建, 等. 藏北高原土壤温度的日变化[J]. 环境科学, 1999, 20(3): 5-8.
- [6] 李栋梁, 钟海玲, 吴奇柏, 等. 青藏高原地表温度的变化分析[J]. 高原气象, 2005, 24(3): 291-298.
- [7] 梁群, 张国林. 朝阳地区热量资源变化趋势及对农业生产的影响[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(20): 9732-9733.
- [8] 张慧智, 史学正, 于东升, 等. 中国土壤温度的季节性变化及其区域分异研究[J]. 中国农学通报, 2009, 46(2): 227-234.
- [9] 周绍毅, 劳炜, 苏志, 等. 1961—2010 年广西浅层地温变化特征[J]. 西南农业学报, 2012, 25(4): 1372-1375.
- [10] 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.
- [11] 费晓玲, 丁春兰. 甘肃黄土高原地温与冬小麦发育期的关系分析[J]. 干旱气象, 2009, 27(2): 148-151.
- [12] 蒋正德, 孙毅, 樊月玲, 等. 2006—2010 年下辽河平原地温和土壤热通量变化特征[J]. 气象与环境学报, 2012, 28(3): 37-43.
- [13] 姜鹏, 纪瑞鹏, 冯锐, 等. 基于多源遥感数据的辽宁地表温度反演及空间分布研究[J]. 气象与环境学报, 2012, 28(3): 44-48.
- [14] 陆晓波, 徐海明, 孙丞虎, 等. 中国近 50a 地温的变化特征[J]. 南京气象学院学报, 2006, 29(5): 706-712.
- [15] 杨永岐. 农业气象中的统计方法[M]. 北京: 气象出版社, 1983: 26-53.
- [16] 安维默. 用 Excel 管理和分析数据[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2003: 208-263.
- [17] 刘智娟, 刘硕. 宁城县农作物生长季气候影响评价[J]. 内蒙古农业科技, 2013(2): 97-98.
- [18] 张德来, 史奎桥, 常松, 等. 气候变化对锦州地区农业气象灾害的影响[J]. 农业灾害研究, 2011, 1(2): 52-54.
- [19] 刘晓英, 程晓辉. 三河市 40 年来地表及浅层地面温度变化趋势分析[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(3): 1789-1791.
- [20] 包永莲, 高荣, 尤莉. 通辽国家基本气象观测站近 50 年最大冻土深度变化特征及其与地温和气温的相关分析[J]. 畜牧与饲料科学, 2012, 33(9): 11-13.