

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.02.007

## 呼和浩特地区土壤浅层温度变化特征及影响因素研究

刘星岑

(呼和浩特市气象局, 内蒙古 呼和浩特 010020)

**摘要:**地温是表征气候变化的主要气象要素之一,研究地温的变化特征有助于揭示地温对农业生产和生态环境的影响。利用呼和浩特地区1961—2020年生长季(4—9月)5 cm、10 cm、15 cm、20 cm浅层地温观测数据,分析其土壤浅层温度的时间变化趋势,地温随土层深度的变化特征以及地温变化与气温、降雨量的关系。结果表明,呼和浩特地区生长季各浅层地温呈显著增温趋势,增幅为0.263~0.561℃/10 a,其中4月增幅最大;生长季地温随土层深度增加而下降。回归分析显示,浅层地温与气温、降雨量呈正相关关系,气温对浅层地温变化的解释贡献率为78%~85.91%,且达到极显著水平( $P < 0.001$ );降雨量对浅层地温变化的解释贡献率为3.72%~11.54%。多元回归分析显示,气温与土壤浅层地温的关系比降雨量更加密切,更能直接影响浅层地温的变化。

**关键词:**浅层地温变化;回归分析;生长季;呼和浩特地区

中图分类号:S714.5;S152.8 文献标识码:A 文章编号:1671-3168(2023)02-0046-06

引文格式:刘星岑. 呼和浩特地区土壤浅层温度变化特征及影响因素研究[J]. 林业调查规划,2023,48(2):46-51.

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.02.007

LIU Xingcen. Characteristics and Influencing Factors of Shallow Soil Temperature Changes in Hohhot Area[J]. Forest Inventory and Planning, 2023, 48(2): 46-51. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.02.007

## Characteristics and Influencing Factors of Shallow Soil Temperature Changes in Hohhot Area

LIU Xingcen

(Hohhot Meteorological Bureau, Hohhot 010020, China)

**Abstract:** Soil temperature is one of the main meteorological factors that characterize climate change. Studying the characteristics of soil temperature changes can help reveal the impact of soil temperature on agricultural production and ecological environment. Based on the 5 cm, 10 cm, 15 cm and 20 cm shallow soil temperature observation data in Hohhot during the growing season (from April to September) from 1961 to 2020, this paper analyzed the temporal change trend of shallow soil temperature in Hohhot area, the characteristics of soil temperature changes with soil depth, and the relationship between soil temperature changes and air temperature or rainfall. The results showed that the average soil temperature of each shallow layer in Hohhot area during the growing season showed a significant warming trend, with an increase of 0.263–0.561℃/10 a and the largest increase in April. The soil temperature decreased with the increase of soil depth during the growing season. The regression analysis showed that the shallow soil temperature was positively correlated with air temperature and rainfall, and the explanation contribution rate of

收稿日期:2021-11-16.

基金项目:国家自然科学基金青年基金(41907082);内蒙古自然科学基金博士基金(2019BS04005).

第一作者:刘星岑(1989-),女,重庆人,工程师.主要从事生态与农业气象方面的研究. Email:yingzhilianyu@163.com

temperature to shallow soil temperature changes was 78%–85.91%, reaching a very significant level ( $P < 0.001$ ); the explanation contribution rate of rainfall to shallow soil temperature changes was 3.72%–11.54%. The multiple regression analysis showed that the relationship between air temperature and shallow soil temperature was closer than rainfall, which could directly affect the change of shallow soil temperature.

**Key words:** shallow soil temperature change; regression analysis; growing season; Hohhot area

近年来,随着全球变暖趋势逐渐明显,气温、云量、降水量等气象要素也随之发生全球性、区域性变化,不仅如此,霜期、浅层地温也渐渐发生改变<sup>[1-6]</sup>,对土壤理化性质、生物学过程等产生巨大影响。有学者研究发现不同区域地温对气候变暖的响应也并不相同<sup>[7-9]</sup>。张慧智等<sup>[10]</sup>研究发现,在中国不同区域之间的土壤温度季节变化存在显著差异。周绍毅等<sup>[11]</sup>研究表明,广西年均浅层地温受气温、降水量影响,且不同深度年均地温呈上升趋势。隋景跃等<sup>[12]</sup>研究表明,辽宁西部地区各层次地温年变化均具有升高趋势,但温度倾向率不同。梁媛等<sup>[13]</sup>研究表明,大兴安岭北部地区各浅层地温在夏季呈显著增温趋势。土壤做为植物根系的主要载体,地温的变化更能直接影响植物的生长<sup>[14-15]</sup>。

目前,系统研究呼和浩特市及周边地区土壤浅层地温变化的成果甚少。随着呼和浩特地区社会经济快速发展,人类活动对土地利用的影响增加,呼和浩特地区地温也发生变化,对农业生产以及区域气候变化产生极大影响,因此,根据呼和浩特市农业生产特点,运用呼和浩特市6个国家气象观测站1961—2020年的浅层地温、气温和降雨量资料,对生长季(4—9月)浅层地温的变化趋势进行规律性描述,气温和降雨量变化对浅层地温的影响进行分析,有助于揭示土壤温度对农业生产和生态环境的影响。

## 1 材料与研究方法

研究数据来源于呼和浩特市市区、武川县、土默特左旗、托克托县、和林格尔县、清水河县6个国家气象观测站1961—2020年生长季(4—9月)的逐月气象资料,包括5 cm、10 cm、15 cm、20 cm土层平均地温、平均气温和降雨量。以1961—2020年的平均值作为60年平均标准计算月、生长季距平,分析地温的年际变化趋势。一般认为地温随时间呈线性变化,因此采用二乘法计算地温趋势率。同时,采用回归分析法分析气温和降雨量变化对浅层地温变化的影响。

## 2 结果与分析

### 2.1 生长季浅层地温变化趋势

#### 2.1.1 生长季浅层地温变化特征

呼和浩特地区生长季浅层地温变化见图1。

由图1可以看出,1961—2020年生长季5 cm、10 cm、15 cm、20 cm土层平均地温整体呈上升趋势,平均地温趋势率分别为0.350℃/10 a、0.347℃/10 a、0.354℃/10 a、0.400℃/10 a。各层趋势率以4月最大,分别为0.543℃/10 a、0.544℃/10 a、0.564℃/10 a、0.592℃/10 a,9月趋势率最小,分别为0.265℃/10 a、0.253℃/10 a、0.247℃/10 a、0.288℃/10 a。整体来看,生长季平均地温以20世纪90年代中后期上升趋势最明显。

#### 2.1.2 各旗县生长季浅层地温变化特征

呼和浩特地区各旗县生长季浅层地温变化见表1。

由表1可以看出,5 cm、10 cm、15 cm、20 cm土层地温在1961—1987年呈上升趋势,1988—1997年呈平稳变化,1998—2020年呈波动上升,生长季趋势率分别为0.350℃/10 a、0.347℃/10 a、0.363℃/10 a、0.400℃/10 a,地温最高值分别出现在2017年、2017年、1999年、2017年,最低值均出现在1976年,各层趋势率最大,分别为0.543℃/10 a、0.501℃/10 a、0.515℃/10 a、0.666℃/10 a。整体来看,呼和浩特地区各旗县地温呈上升趋势,除武川县、和林格尔县外,其余地区均是20 cm土层的升温趋势最大。

#### 2.1.3 生长季浅层地温年代变化特征

呼和浩特地区生长季浅层地温年代变化见图2。

由图2可知,5 cm、10 cm、15 cm、20 cm土层的变化趋势较为一致,均是20世纪60、70年代为负距平,为冷期;80年代冷暖交替;20世纪90年代至21世纪初期为正距平,为暖期;距平最低值出现在20世纪60年代4月,最高值出现在21世纪初期4月。生长季各层土壤平均温度总体呈逐年代波动上升趋势,期间出现冷暖交替的阶段特征,4月距平值变化最明显,9月变化最小。

#### 2.1.4 生长季浅层地温垂直变化特征

随着土层深度加深,地温的变化也表现在垂直方向上(图3)。

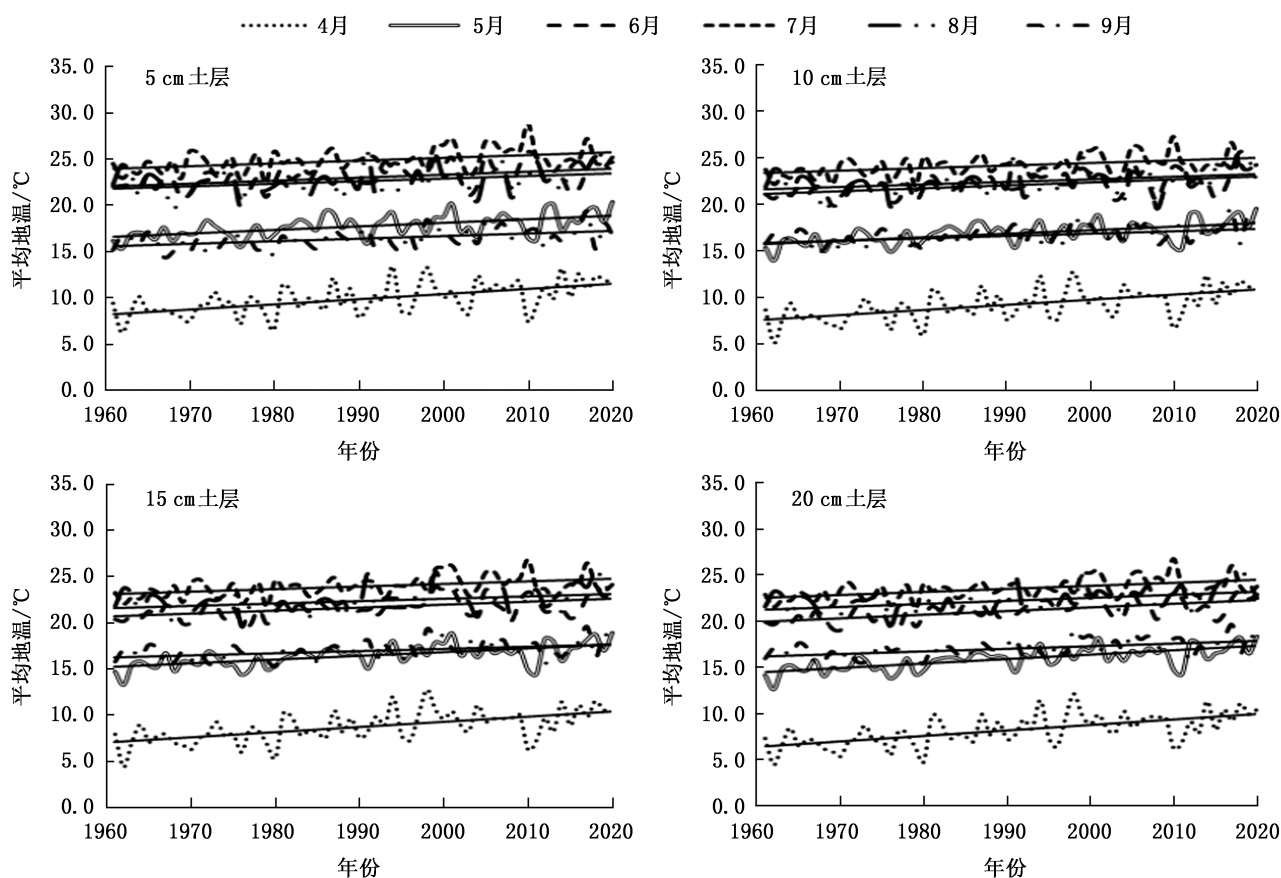


图 1 呼和浩特地区不同土层生长季浅层地温变化

Fig. 1 Shallow soil temperature changes during the growing season in Hohhot area

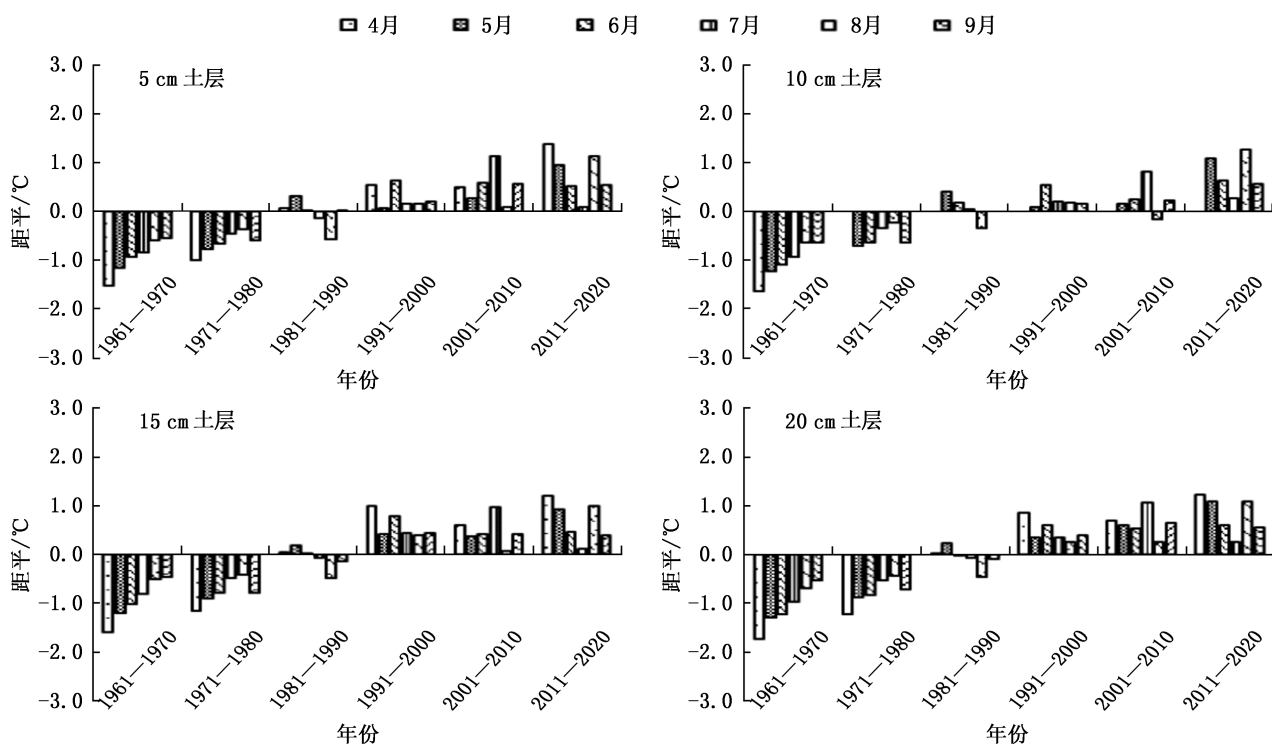


图 2 呼和浩特地区不同土层生长季浅层地温年代变化

Fig. 2 Chronological changes of shallow soil temperature during the growing season in Hohhot area

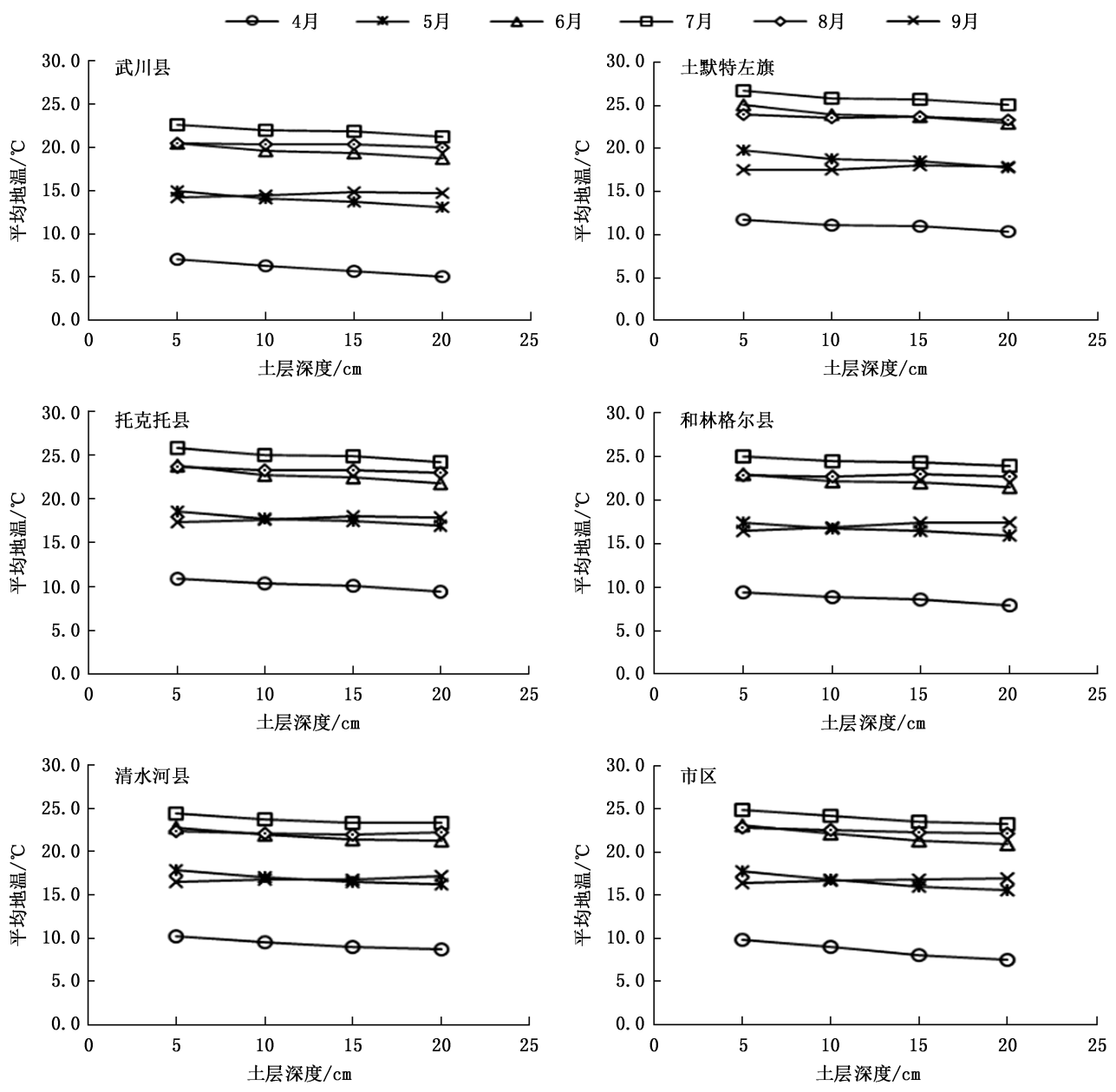


图 3 呼和浩特地区各观测站浅层地温垂直变化

Fig.3 Vertical changes of shallow soil temperature at observation stations in Hohhot area

表 1 呼和浩特地区各旗县浅层地温气候倾向率

| Tab.1 Climate tendency rate of shallow soil temperature of each banner and county in Hohhot area |       |       |       |       |       |       |       |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| ℃/10 a                                                                                           |       |       |       |       |       |       |       |
| 土层深度/cm                                                                                          | 武川县   | 土默特左旗 | 托克托县  | 和林格尔县 | 清水河县  | 呼和浩特市 | 全市平均  |
| 5                                                                                                | 0.360 | 0.386 | 0.174 | 0.352 | 0.282 | 0.543 | 0.350 |
| 10                                                                                               | 0.328 | 0.360 | 0.218 | 0.443 | 0.229 | 0.501 | 0.346 |
| 15                                                                                               | 0.302 | 0.497 | 0.222 | 0.453 | 0.132 | 0.515 | 0.354 |
| 20                                                                                               | 0.286 | 0.450 | 0.195 | 0.458 | 0.344 | 0.666 | 0.040 |

注:表中各值均达到 95% 信度水平(下同)。

由图 3 可知,呼和浩特市区、武川县、土默特左旗、托克托县、和林格尔县、清水河县生长季浅层土壤平均温度随深度加深呈下降趋势,趋势率分别为 0.058℃/cm、0.063℃/cm、0.058℃/cm、0.071℃/cm、0.042℃/cm、0.045℃/cm、0.056℃/cm。呼和浩特地区生长季地温随深度的增加而降低,主要是由于生长季土壤作为热汇,热量从表层传递到深层,地温随土层深度的增加依次降低。

2.2 浅层地温与气温的关系

气温的变化最先引起地表温度的变化,实际上地表温度的变化是气候变化对土壤热状况的具体体

现。对呼和浩特地区同期气温变化的研究发现,6 个站点的气温也呈显著上升的趋势,与地温的变化稍有差距,土默特左旗增温幅度最大,清水河县增温幅度最小(表 2)。

表 2 呼和浩特地区各旗县生长季气温倾向率

Tab. 2 Temperature tendency rate of each banner and county in Hohhot area during the growing season  $^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$

| 月份 | 武川县   | 土默特左旗 | 托克托县  | 和林格尔县 | 清水河县  | 呼和浩特市 |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 4  | 0.465 | 0.604 | 0.514 | 0.426 | 0.313 | 0.459 |
| 5  | 0.246 | 0.358 | 0.257 | 0.230 | 0.128 | 0.227 |
| 6  | 0.292 | 0.350 | 0.228 | 0.256 | 0.148 | 0.269 |
| 7  | 0.344 | 0.326 | 0.257 | 0.289 | 0.168 | 0.303 |
| 8  | 0.262 | 0.236 | 0.192 | 0.235 | 0.044 | 0.289 |
| 9  | 0.400 | 0.392 | 0.298 | 0.388 | 0.159 | 0.422 |

由表 1、表 2 可知,呼和浩特地区 6 个站点气温的变化幅度明显高于地温的变化幅度。

为更清楚地反映气温、降雨量与土壤浅层地温的关系,对生长季气温、降雨量与土壤浅层地温进行回归分析(表 3)。

研究结果显示,气温与土壤浅层地温有较好的相关性,气温对土壤浅层地温变化的解释贡献率为 78%~85.91%,且均达到极显著( $P < 0.001$ );降雨量与土壤浅层地温有一定相关性,降雨量对土壤浅层地温变化的解释贡献率为 3.72%~11.54%。通过多元回归分析进一步揭示气温和降雨量对土壤浅层地温的贡献,以土壤浅层地温( $T_5$ 、 $T_{10}$ 、 $T_{15}$ 、 $T_{20}$ )为因变量,气温( $T_m$ )和降雨量( $W$ )为自变量做多元回归分析方程,通过偏回归系数显示自变量对因变量的贡献大小。从表 4 的 4 个方程可以看出气温与土壤浅层地温的关系比降雨量更加密切,表示气温比降雨量更能直接影响土壤浅层地温的变化。

表 3 气温、降雨量分别与土壤浅层地温的回归方程

Tab. 3 Regression equations of air temperature and shallow soil temperature and regression equations of rainfall and shallow soil temperature

| 土壤深度/cm | 降雨量                          |        | 气温                             |        |
|---------|------------------------------|--------|--------------------------------|--------|
|         | 回归方程                         | $R^2$  | 回归方程                           | $R^2$  |
| 5       | $T_5 = 20.2396 - 0.0197W$    | 0.1154 | $T_5 = 1.3412 + 1.049T_m$      | 0.8510 |
| 10      | $T_{10} = 19.4361 - 0.0152W$ | 0.0686 | $T_{10} = 1.589 + 1.0023T_m$   | 0.7800 |
| 15      | $T_{15} = 19.03 - 0.0118W$   | 0.0405 | $T_{15} = 0.4892 + 1.0545T_m$  | 0.8444 |
| 20      | $T_{20} = 18.6584 - 0.0116W$ | 0.0372 | $T_{20} = -0.5409 + 1.0939T_m$ | 0.8591 |

注: $T_m$  表示气温; $T_5 \sim T_{20}$  分别表示各土层深度的温度; $W$  表示降雨量(下同)。

表 4 气温、降雨量与土壤浅层地温的回归方程

Tab. 4 Regression equation of air temperature, rainfall and shallow soil temperature

| 土壤深度/cm | 回归方程                                                                             | $R^2$  |
|---------|----------------------------------------------------------------------------------|--------|
| 5       | $T_5 = -22.69 + 3.8286T_m + 0.0403W - 0.0018T_mW - 0.0799T_m^2 - 0.0002W^2$      | 0.8927 |
| 10      | $T_{10} = -22.0101 + 3.6913T_m + 0.0443W - 0.001T_mW - 0.0785T_m^2 - 0.0003W^2$  | 0.8062 |
| 15      | $T_{15} = -5.5616 + 1.5315T_m + 0.0817W - 0.0023T_mW - 0.0108T_m^2 - 0.0004W^2$  | 0.8629 |
| 20      | $T_{20} = -19.6503 + 3.0946T_m + 0.0851W - 0.0025T_mW - 0.0551T_m^2 - 0.0004W^2$ | 0.8770 |

### 3 讨论与结论

#### 3.1 讨论

地温是影响植物生长的主要因素之一,在气候变化背景下关注地温的变化趋势,研究地温与气温变化是否一致,为进一步研究各因素对作物生长的影响机理及合理制定农业管理措施提供了理论支

撑。当前,学者们对各地不同时期的气温和地温变化趋势也进行了研究分析,但对气温和各层地温在变化中的关系不够关注,缺乏二者间的对比分析。

研究发现,近 60 年来,呼和浩特市地温变化与气温变化密切关系,其主要受地表热量控制,由于气温对浅层地温的影响是连续的,导致土壤浅层温度

变化与气温变化规律相一致,这与刘引鸽<sup>[16]</sup>、梁媛<sup>[13]</sup>等的研究结果相似。

一般来说,地温的变化主要是受气温的影响,而土壤深度越深,其受气温的影响越小。多数研究发现,地温变化幅度随深度呈指数衰减,即随着深度的增加,地表温度周期性变化对地温的影响越小,本研究结果也得出呼和浩特市生长季浅层土壤平均温度随深度加深呈下降趋势,与此结论呈现出高度一致性。降雨量与土壤浅层地温变化有一定相关性,但降雨量对土壤浅层地温变化的解释贡献率小于气温。因此,气温上升是影响呼和浩特地区地温上升的主要原因。

### 3.2 结论

1)呼和浩特地区生长季浅层土壤平均温度呈上升趋势,4月上升幅度最大;各旗县生长季5 cm、10 cm、15 cm、20 cm 土层的升温变化较为一致,除武川县、和林格尔县外,其余地区均是20 cm 土层的升温趋势最大;生长季各层土壤平均温度呈逐年代波动上升趋势,期间出现冷暖交替的阶段特征。

2)呼和浩特地区生长季浅层土壤平均温度垂直变化特征为平均地温随土层深度增加呈下降趋势。

3)回归分析显示,呼和浩特地区浅层地温与气温呈正相关关系,气温对浅层地温变化的解释贡献率为78%~85.91%,且达到极显著水平( $P < 0.001$ );浅层地温与降雨量也呈正相关关系,降雨量对浅层地温变化的解释贡献率为3.72%~11.54%。多元回归分析显示,气温与土壤浅层地温的关系比降雨量更加密切,更能直接影响土壤浅层地温的变化。

### 参考文献:

- [1] 隋景跃,张国林. 朝阳地区霜期农业气候资源特征分析[J]. 山西农业科学,2012,40(7):747-750.
- [2] 陆晓波,徐海明,孙丞虎,等. 中国近50 a 地温的变化

特征[J]. 南京气象学院学报,2006,29(5):706-712.

- [3] 周晋红,张忠效. 近45 a 山西冬季0 cm 地温时空分布及气候分区[J]. 山西农业科学,2011,39(9):997-1000.
- [4] 李焕春,严昌荣,赵沛义,等. 不同施肥对阴山北麓旱作农田土壤呼吸的影响[J]. 华北农学报,2012,27(5):224-229.
- [5] 杨军,吴建华,王补生,等. 日光温室蔬菜栽培中的地温调控技术研究[J]. 内蒙古农业科技,2012(3):99-100.
- [6] 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.
- [7] 杜军,胡军,杨勇,等. 近45年拉萨深层地温变化趋势分析[J]. 应用气象学报,2008,19(1):96-100.
- [8] 杜军,李春,廖健,等. 拉萨近45年浅层地温的变化特征[J]. 干旱区地理,2010,30(6):826-831.
- [9] 狄晓英,赵俊萍,史海平,等. 近46年临汾浅层地温气候特征分析[J]. 山西师范大学学报(自然科学版),2009,23(1):120-124.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] 隋景跃,张国林,戴海燕,等. 近52 a 辽宁西部地区浅层地温变化特征分析[J]. 山西农业科学,2013,41(8):852-855.
- [13] 梁媛,刘滨辉. 大兴安岭北部地区夏季浅层地温的变化[J]. 东北林业大学学报,2014,42(5):83-85.
- [14] 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.
- [15] 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.
- [16] 刘引鸽,周欢欢,胡浩楠,等. 西安地区土壤浅层温度变化特征[J]. 干旱区资源与环境,2019,33(8):153-159.

责任编辑:杨焱熔