

Variation Characteristics of Ground Temperature and Seasonal Frozen Soil in Hohhot City during 1961-2010

Yan Liang

Hohhot Meteorological Bureau, Hohhot Inner Mongolia
Email: liangyan409@163.com

Received: Jun. 27th, 2016; accepted: Jul. 15th, 2016; published: Jul. 18th, 2016

Copyright © 2016 by author and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

Based on the collection and analysis of meteorological observation data of ground temperature and seasonal frozen soil in Hohhot City during 1961-2010, time-variations of ground temperature and seasonal frozen soil were studied, and the basic facts, characteristics and reasons were also discussed. The results showed that: the ground temperature rose remarkably ($p < 0.05$), and the soil frozen state and maximum depth of frozen ground changed greatly within the fifty years. Furthermore, their degrees of changing were different among ages. The ground temperature and soil frozen state changed rapidly in 1990s, and the most severe changes of them were occurred in the first ten years of twenty first century. The maximum depth of frozen ground represented the process as: from shallow to deep, then to shallow during 1961-2010. Changes in ground temperature and air temperature were not synchronized, and the change of ground temperature lagged behind the air temperature. The rise extent of ground temperature in spring was larger than that in winter. Daily minimum and maximum mean surface temperature were increased obviously than the other two ground temperatures, and their climate tendency rates were 0.45/10a and 0.43°C/10a respectively. The substantial advance of average thawing day (about 7 days in advance every 10 years) directly affected the frozen days. 1970s to 1990s was the greatest period of maximum depth of frozen soil, and the maximum depth of frozen soil in the 10s was decreased by about 17 cm compared with the 70s-90s.

Keywords

Hohhot City, Ground Temperature, Seasonal Frozen Soil, Climate Change, Characteristics

1961~2010年呼和浩特市地温及季节冻土的变化特征

梁 燕

呼和浩特市气象局, 内蒙古 呼和浩特
Email: liangyan409@163.com

收稿日期: 2016年6月27日; 录用日期: 2016年7月15日; 发布日期: 2016年7月18日

摘 要

对呼和浩特市50a (1961~2010年)地温及冻土气象观测资料整理和分析的基础上, 研究了地温和冻土随时间的演变规律, 探讨其基本事实、特征及变化原因。结果为: 50年间呼和浩特市地温升高显著($p < 0.05$)、土壤封冻状态及最大冻土深度均发生较大变化, 且不同年代变化幅度也不尽相同: 90年代地温和土壤封冻状态迅速变化, 10年代地温增温最为剧烈、土壤封冻状态变化最为显著; 最大冻土深度则表现为由浅到深、再到浅的过程。地温与气温的变化不同步, 地温的变化滞后于气温, 春季地温升高幅度大于冬季。日最低平均地表温度和日最高平均地表温度较其它两类地温增温明显, 气候倾向率分别为0.45/10a和0.43°C/10a; 平均解冻日的大幅提前(基本表现为每10年提前7天左右)是引起封冻天数变化的直接原因; 70~90年代为冻土深度最大的时段, 最大冻土深度10年代较70~90年代约减少17 cm。

关键词

呼和浩特市, 地温, 季节性冻土, 气候变化, 特征

1. 引言

温度的测量和分析是人类最熟悉的一种科学研究手段, 随着人们对全球气候变化的日益关注, 针对气温变化的原因和后果开展了大量研究[1]; 相比之下, 对于地温和冻土的研究却相对较少[2] [3]。下垫面与大气的相互作用影响着各种尺度的天气、气候变化[4]-[6], 而地温和冻土作为下垫面状况最直接的反映[4] [7] [8], 会在陆-气相互作用过程中产生重要影响。

季节性冻土在呼和浩特地区分布广泛且一年中存在时间较长[9], 在近年来气候变暖明显的背景下[10]-[15], 系统研究地温和季节性冻土的气候变化特征, 能够为进一步开展其对气候变化的反作用提供研究基础。

作为内蒙古自治区的首府, 呼和浩特市的城市化进程发展迅速, 目前中心城区面积已由2000年之前的不足100 km², 发展到现在的260 km², 到2020年, 呼和浩特中心城区用地规模将达到310 km²左右(含机场、铁路等对外交通用地) [16]。已有研究表明, 气候变化和人类活动会使地温和冻土产生很大变化[5] [6] [17] [18], 使土壤温度升高、冻土厚度减薄, 对各类管道及道路施工、交通及农事活动产生影响[8] [18]。本文通过对呼和浩特市近50年来地温及季节性冻土变化特征的分析研究, 地温、土壤封冻状态、最大冻土深度等研究结果对该市各类工程建设参数的调整与确定具有一定的参考价值。

2. 资料站点及处理方法

本文所用资料为呼和浩特赛罕区国家一般气象站 1961~2010 年地温、土壤冻结及解冻时间、最大冻土深度观测资料。观测场位于东经 111°42′, 北纬 40°45′, 海拔高度为 1045.4 米。

2008 年之前地温为人工观测, 每日 08 时测定地温及最低地温(酒精最低温度计)、14 时测定地温及最高地温(水银最高温度计)、20 时测定地温后, 确定一天(20 时至次日 20 时)中最低、最高地温和平均地温(3 次地温观测值加权平均); 2008 年自动气象站启用后, 通过铂电阻地温传感器逐分钟地温测定结果筛选确定一天中最低、最高地温, 日平均地温为一天中逐分钟地温进行加权平均后确定。

冻结日与解冻日均为土壤冻结和解冻开始的日期, 封冻天数为土壤中水分呈冻结状态的天数, 采用冻土器人工观测。

数据的统计与分析采用 SAS (8.1)统计程序软件[19]。各处理间的差异采用单因素方差分析(one-way Analysis of Variance, ANOVA); 在方差分析检验中, 均值间的显著性差异通过保护性最小显著差数法(protected least significant difference, LSD)计算[19] [20]。地温的气候倾向率采用一元线性方程分析方法, 且对趋势系数进行了显著性检验[19] [20]。

3. 结果与分析

3.1. 地温的变化特征

1961~2010 年, 呼和浩特市区的日最低平均地表温度、日平均地表温度、日最高平均地表温度和日平均 40 cm 深度地温 50a 均值分别为-3.48℃、8.31℃、28.72℃和 8.47℃, 50 年来四类地温增温显著($p < 0.05$)。

以 10a 时间尺度分析(表 1), 四类地温中以日最低平均地表温度和日平均地表温度的增温态势较为明显且升温幅度基本一致, 气候倾向率分别达 0.45 和 0.43℃/10a, 日平均 40 cm 深度地温为四类地温中升温幅度最小的; 但 50 年间的并不是均匀升温的, 上世纪 60 年代至 90 年代基本属于一个相对平稳的时段, 90 年代之后地温迅速上升, 进入 21 世纪的前 10 年为统计年代内地温增温最为剧烈的时段, 四类地温分别较上世纪 60 年代升高 2℃左右, 较 50 年均值升高 1.58℃、1.42℃、2.09℃和 1.13℃。

3.2. 土壤封冻期的变化特征

1961~2010 年的 50 年间, 呼和浩特市区的土壤封冻状态总体上呈冻结日期推后、解冻日期提前, 平均封冻天数减少的特点(表 2)。平均冻结日在各年代中变化幅度较小, 2001~2010 年的平均冻结日由前 40 年的 11 月初推后到 11 月中旬, 较前 40 年的均值推后了 7 天; 平均解冻日从上世纪 60 年代至今出现了大幅度的提前, 由 60 年代的 4 月末提前到了本世纪前 10 年的 3 月末, 除 80 年代较 70 年代变化幅度(2 天)较小之外, 基本表现为每 10 年提前 7 天左右, 21 世纪的前 10 年为平均解冻日变化最为剧烈的时段, 较上世纪 90 年代提前了 14 天, 较前 40 年的均值提前了 22 天。随着平均冻结日的推后、平均解冻日的提前, 平均封冻天数在 50 年间也出现了明显的变化, 2001~2010 年间的平均封冻天数较上世纪 60 年代减少了 36 天/年。

总体来看, 呼和浩特市区的土壤封冻期于上世纪 70 年代较 60 年代出现了较为明显的变化后, 70 年代~90 年代为较为稳定的阶段, 90 年代之后(尤其是本世纪的前 10 年)为冻结日期推后、解冻日期提前、封冻天数减少最为显著的时段。

3.3. 最大冻土深度的变化特征

呼和浩特市最大冻土深度年度间变化较大(图 1), 极小值为 2007 年的 88 cm, 极大值为 1984 年的

Table 1. Average ground temperature in ten year scale during 1961 to 2010 in Hohhot city
表 1. 呼和浩特市 1961~2010 年间 10a 尺度地温平均值

	10a 平均温度(°C)					2001~2010 和 1961~1970 年 地温差值(°C)	气候倾向率 (°C/10a)
	1961~1970	1971~1980	1981~1990	1991~2000	2001~2010		
日最低平均地表温度	-4.10	-3.70	-4.27	-3.44	-1.90	2.20	0.45
日平均地表温度	7.87	8.05	7.68	8.24	9.73	1.86	0.38
日最高平均地表温度	28.90	27.70	27.98	28.22	30.81	1.91	0.43
日平均 40 cm 深度地温	8.05	8.13	8.09	8.46	9.60	1.55	0.33

Table 2. Average soil freezing date, thawing date and frozen dates in ten year scale during 1961 to 2010 in Hohhot city
表 2. 呼和浩特市 1961~2010 年间 10a 尺度土壤冻结、解冻平均日期及平均封冻天数

年代	平均冻结日 (月-日)	平均解冻日 (月-日)	平均封冻天数 (天/年)
1961~1970	11-6	4-26	172
1971~1980	11-7	4-19	164
1981~1990	10-31	4-17	169
1991~2000	11-8	4-10	154
2001~2010	11-12	3-27	136
10 年代与前 40a 均值之差	+7	-22	-29

注: +表示推后; -表示提前或减少

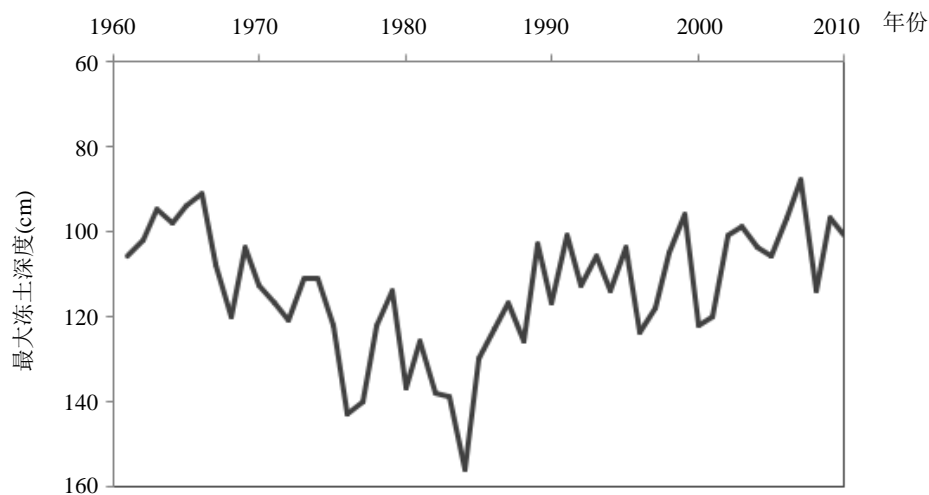


Figure 1. Variation of maximum frozen soil depth during 1961 to 2010 in Hohhot city
图 1. 呼和浩特市 1961~2010 年最大冻土深度变化

156 cm, 极差达 68 cm, 50 年均值为 113 cm。

以 10a 时间尺度来看(表 3), 70 与 80 年代为平均最大冻土深度最大且较为稳定的时段($p < 0.05$), 20 年间平均最大冻土深度为 124.6 cm; 60 年代与 10 年代为平均最大冻土深度最小的时段($p < 0.05$), 平均仅为 105.9 cm; 90 年代较 60 年代和 10 年代有所增大, 但三个年代之间未形成显著性差异($p > 0.05$)。

Table 3. Average maximum frozen soil depth in ten year scale during 1961 to 2010 in Hohhot city
表 3. 呼和浩特市 1961~2010 年间 10a 尺度平均最大冻土深度

	1961~1970	1971~1980	1981~1990	1991~2000	2001~2010
最大冻土深度(cm)	104.4 ^b	124.0 ^a	125.1 ^a	111.2 ^b	107.5 ^b

注：不同字母代表在 0.05 置信水平下存在显著性差异

4. 讨论

冻土是指 0℃ 以下，并含有冰的各种岩石和土壤。按土的冻结状态保持时间长短，冻土一般可分为短时冻土(数小时/数日以至半月)、季节冻土(半月至数月)以及多年冻土(持续二年或二年以上的) [9]。11 月上旬，呼和浩特市土壤开始冻结，至次年的 4 月前后解冻，季节冻土可以持续 5~6 个月。1961~2010 年，呼和浩特市区的平均封冻天数总体来讲分为三个阶段：60~80 年代为较为稳定的阶段，90 年代为大幅减小的阶段，10 年代为继续减小阶段，这一变化趋势与气温的年代际变化基本一致[15]。与平均冻结日相比，平均解冻日的大幅提前是引起封冻天数变化的主要原因(表 2)，表明近 50 年来，初冬地温的升高幅度远小于春季地温升高幅度。目前已有研究表明，呼和浩特市冬季气温增幅大于其它季节[15]，说明气温与地温的变化不是同步进行的，地温的变化滞后于气温，地温的升高是由于气温升高累积到一定程度后发生的。

冻土深度的变化是受温度、土壤湿度、地下水位、地表积雪深度等因子共同影响的[8]。呼和浩特市区的地下水是从 20 世纪 70 年代开始大规模开采的[21]，而 60 年代地下水尚属于自然状态，地下水位较高，土壤湿度较大，致使土壤热容量亦大，使土壤在冬季不易冻结，因此呼和浩特市 60 年代平均最大冻土深度不深；90 年代至 10 年代，呼和浩特市城市化进程发展迅速，由此引发的气候变化及热岛效应影响了呼市市区降雨发生的频率和强度，呼和浩特市的短时暴雨呈上升趋势，使呼和浩特市年降雨量显著增多，高强度降水频率增大，短时高强度降水时有发生。据统计，60~80 年代呼和浩特市平均每年出现大到暴雨 2.7 天，90 年代 3.7 天，2001 年~2012 年平均为 3.4 天，降水的增多、土壤含水量的增大使得这一时段的冻土深度较 70~90 年代又出现了明显的减小；70~90 年代处于气候变化刚刚开始但尚未产生深刻影响、而地下水又受到大规模开采的时段，温度、土壤湿度、地下水位等因子有利于这一时段土壤冻结层加厚、冻土的加深，因此 70~90 年代为上世纪 60 年代至今冻土深度最大的时段。

5. 结论

1) 1961~2010 年，呼和浩特市地温升高显著，但 50 年间增温并不均匀。以日最低平均地表温度和日最高平均地表温度的增温态势更为明显，气候倾向率分别为 0.45/10a 和 0.43℃/10a，小于呼和浩特市 0.52℃/10a 的气温倾向率[15]；90 年代地温迅速上升，10 年代为地温增温最为剧烈的时段。地温的变化滞后于气温，春季地温升高幅度大于冬季。

2) 近 50 年来，呼和浩特市区的土壤封冻状态为冻结日期小幅推后，解冻日期大幅提前，封冻天数减少的特点。平均解冻日的大幅提前是引起封冻天数变化的直接原因。90 年代之后，尤其是本世纪的前 10 年，为土壤封冻状态变化最为显著的时段。

3) 最大冻土深度年度间存在较大差异，50 年间表现为由浅到深、再到浅的过程，70~80 年代为冻土深度较大时段，10 年代又表现为与 60 年代相当水平，较 70~80 年代平均最大冻土深度减小 17.1 cm。在气候变暖的背景下，呼和浩特市在城市化发展进程中应重视冻土区域地面的不稳定性可能造成的影响。

基金项目

公益性行业(气象)科研专项——中国北方农牧交错带生态系统监测评估技术开发 GYHY(QX)2007-6-24。

参考文献 (References)

- [1] IPCC (2014) Climate Change 2013: The Physical Science Basis. In: Thomas, S., Qin, D.H. and Gian-Kasper, P., Eds., *Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge.
- [2] 黄少鹏, 安芷生. 长期地温监测在地球科学研究中的重要意义[J]. 地球环境学报, 2010, 1(1): 1-7.
- [3] 陈超, 周广胜. 1961-2010年桂林气温和地温的变化特征[J]. 生态学报, 2013, 33(7): 2043-2053.
- [4] 李崇银. 气候动力学引论[M]. 北京: 气象出版社, 1995: 290-296.
- [5] 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, 2007, 30(6): 826-831.
- [6] 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): 96-99.
- [7] 庞强强, 李述训, 张文纲. 不同下垫面对多年浅土层热状况的影响分析[J]. 冰川冻土, 2009, 31(6): 1003-1010.
- [8] 王秋香, 李红军, 魏荣庆, 等. 1961-2002年新疆季节冻土多年变化及突变分析[J]. 冰川冻土, 2005, 27(6): 820-826.
- [9] 陈博, 李建平. 近50年来中国季节性冻土与短时冻土的时空变化特征[J]. 大气科学, 2008, 32(3): 432-443.
- [10] 丁一汇, 戴晓苏. 中国近百年来来的温度变化[J]. 气象, 1994, 20(12): 19-26.
- [11] 魏凤英, 曹鸿兴. 中国、北半球和全球的气温突变分析及其趋势预测研究[J]. 大气科学, 1995, 19(2): 140-148.
- [12] 林而达, 许吟隆, 蒋金荷, 等. 气候变化国家评估报告(II): 气候变化的影响与适应[J]. 2006, 2(2): 51-56.
- [13] 陈隆勋, 周秀骥, 李维亮, 等. 中国近80年来气候变化特征及其形成机制[J]. 气象学报, 2004, 61(5): 634-646.
- [14] 刘小艳, 宁海文, 杜继稳, 等. 近56年来西安市气温突变与致灾效应[J]. 干旱区资源与环境, 2009, 23(11): 94-99.
- [15] 梁燕, 魏玉荣. 呼和浩特市1951-2010年气温变化特征的研究[J]. 干旱区资源与环境, 2016(4): 144-150.
- [16] 呼和浩特市人民政府. 内蒙古呼和浩特市2010年-2020年城市总体规划[R]. 2010.
- [17] 王一博, 王根绪, 常娟. 人类活动对青藏高原冻土环境的影响[J]. 冰川冻土, 2004, 26(5): 523-527.
- [18] 吴青柏, 童长江. 冻土变化与青藏公路的稳定性问题[J]. 冰川冻土, 1995(4): 350-355.
- [19] 裴喜春, 薛河儒. SAS及应用[M]. 北京: 中国农业出版社, 1997: 81, 121-127.
- [20] 辛贤, 蒋乃华. 统计学原理[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2001.
- [21] 杨亮平, 姜振蛟, 赵宜婷, 等. 呼和浩特市地下水水位动态变化及趋势预测研究[J]. 水文地质工程地质, 2009(4): 46-49.

期刊投稿者将享受如下服务:

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>