

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

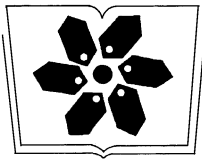
Acta Ecologica Sinica



第33卷 第7期 Vol.33 No.7 **2013**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 33 卷 第 7 期 2013 年 4 月 (半月刊)

目 次

前沿理论与学科综述

- 线虫转型发育和寄主识别的化学通讯研究进展..... 张 宾,胡春祥,石 进,等 (2003)
- 生物物种资源监测原则与指标及抽样设计方法..... 徐海根,丁 晖,吴 军,等 (2013)

个体与基础生态

- 呼伦贝尔草原人为火空间分布格局..... 张正祥,张洪岩,李冬雪,等 (2023)
- 青藏高原草地地下生物量与环境因子的关系..... 杨秀静,黄 玫,王军邦,等 (2032)
- 1961—2010 年桂林气温和地温的变化特征 陈 超,周广胜 (2043)
- 黄泥河自然保护区狗冬季卧息地选择..... 朱洪强,葛志勇,刘 庚,等 (2054)
- 青藏高原草地植物叶解剖特征..... 李全发,王宝娟,安丽华,等 (2062)
- 青藏高原高寒草甸夏季植被特征及对模拟增温的短期响应..... 徐满厚,薛 娴 (2071)
- 高温影响番茄小孢子发育的细胞学研究..... 彭 真,程 琳,何艳军,等 (2084)
- 黄土丘陵半干旱区柠条林株高生长过程新模型..... 赵 龙,王振凤,郭忠升,等 (2093)
- 柝属 7 种植物种子的发芽抑制物质研究..... 李庆梅,刘 艳,刘广全,等 (2104)
- 水分胁迫和杀真菌剂对黄顶菊生长和抗旱性的影响..... 陈冬青,皇甫超河,刘红梅,等 (2113)
- 铜尾矿废弃地与相邻生境土壤种子库特征的比较..... 沈章军,欧祖兰,田胜尼,等 (2121)
- 云雾山典型草原火烧不同恢复年限土壤化学性质变化..... 李 媛,程积民,魏 琳,等 (2131)
- 根系分区交替灌溉条件下水肥供应对番茄果实硝酸盐含量的影响..... 周振江,牛晓丽,李 瑞,等 (2139)
- 喀斯特山区土地利用对土壤团聚体有机碳和活性有机碳特征的影响..... 李 娟,廖洪凯,龙 健,等 (2147)
- 自生固氮菌活化土壤无机磷研究..... 张 亮,杨宇虹,李 倩,等 (2157)
- 德国鳶尾对 Cd 胁迫的生理生态响应及积累特性 张呈祥,陈为峰 (2165)
- 施污土壤重金属有效态分布及生物有效性..... 铁 梅,宋琳琳,惠秀娟,等 (2173)
- 基于叶面积指数改进的直角双曲线模型在玉米农田生态系统中的应用..... 孙敬松,周广胜 (2182)
- 中稻田三种飞虱的捕食性天敌优势种及农药对天敌的影响..... 林 源,周夏芝,毕守东,等 (2189)

种群、群落和生态系统

- 珠江口超微型浮游植物时空分布及其与环境因子的关系..... 张 霞,黄小平,施 震,等 (2200)
- 输水前后塔里木河下游物种多样性与水因子的关系..... 陈永金,刘加珍,陈亚宁,等 (2212)
- 南海西北部陆架区鱼类的种类组成与群落格局..... 王雪辉,林昭进,杜飞雁,等 (2225)
- 滇西北高原碧塔湖滨沼泽植物群落分布与演替 韩大勇,杨永兴,杨 杨 (2236)
- 石羊河下游白刺灌丛演替过程中群落结构及数量特征..... 靳虎甲,马全林,何明珠,等 (2248)

资源与产业生态

- 土壤深松和补灌对小麦干物质生产及水分利用率的影响..... 郑成岩,于振文,张永丽,等 (2260)

豆科绿肥及施氮量对旱地麦田土壤主要肥力性状的影响..... 张达斌,姚鹏伟,李 婧,等 (2272)

沟壑全覆盖种植方式对旱地玉米生长及水分利用效率的影响..... 李 荣,侯贤清,贾志宽,等 (2282)

城乡与社会生态

北京北护城河河岸带的温湿度调节效应 吴芳芳,张 娜,陈晓燕 (2292)

西安太阳总辐射时空变化特征及对城市发展的响应..... 张宏利,张纳伟锐,刘敏茹,等 (2304)

研究简报

安徽琅琊山大型真菌区系多样性..... 柴新义,许雪峰,汪美英,等 (2314)

中国生态学会 2013 年学术年会征稿通知 (2320)

第七届现代生态学讲座、第四届国际青年生态学者论坛通知 (I)

中、美生态学会联合招聘国际期刊主编 (i)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 318 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 32 * 2013-04



封面图说: 金灿灿的小麦熟了——小麦是世界上最早栽培的农作物之一,是一种在世界各地广泛种植的禾本科植物,起源于中东地区。全世界大概有 43 个国家,近 35%—40% 的人口以小麦为主要粮食。小麦是禾谷类作物中抗寒能力较强的越冬作物,具有一定的耐旱和耐盐碱能力。中国的小麦分布于全国各地,主要集中于东北平原、华北平原和长江中下游一带。小麦秋季播种、冬季生长、春季开花、夏季结实。子粒含有丰富的淀粉、较多的蛋白质、少量的脂肪,还有多种矿物质元素和维生素 B,是一种营养丰富、经济价值较高的粮食。

彩图及图说提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201112312022

陈超,周广胜. 1961—2010 年桂林气温和地温的变化特征. 生态学报, 2013, 33(7): 2043-2053.

Chen C, Zhou G S. Analysis on variation characteristics of air temperature and ground temperature in Guilin from 1961 to 2010. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(7): 2043-2053.

1961—2010 年桂林气温和地温的变化特征

陈 超¹, 周广胜^{1,2,*}

(1. 中国气象科学研究院, 北京 100081; 2. 中国科学院植物研究所植被与环境变化国家重点实验室, 北京 100093)

摘要:关于气温变化特征已有大量研究,但是关于地温变化及其与气温的关系研究还较少。以亚热带湿润地区的广西桂林气象站为研究对象,分析了 1961—2010 年桂林气温和 0—80 cm 各层地温的年代和季节变化趋势、地气温差变化、气候突变和异常年份以及气温和地温关系。结果表明:气温与各层地温有很好的相关性。各年、季平均气温和各层平均地温大部分呈显著的升高趋势,但气温和地温的增温速率不一致,即升温存在非对称性;年均气温低于各层地温 1.3—2.1℃,气温的增温速率和增温幅度分别为 0.184℃/10 a 和 0.8℃,高于除 0 cm 外其它各层地温的变化;气温、5—40 cm 地温在冬季的增温最多,0 cm 和 80 cm 地温分别在秋季和夏季的增温最多;春、夏季,随着土壤深度的增加,地温呈减小趋势,春季气温小于 0—15 cm 而大于 20—80 cm 地温,夏季气温小于 0—40 cm 而大于 80 cm 地温;秋、冬季,随着土壤深度的增加,地温呈增加趋势,秋、冬季气温小于各层地温;气候变暖背景下,年平均、四季气温比除 0 cm 外其它各层地温的响应更快。近 50 年来,各层地温和气温的温差减小了 0.1—0.4℃(0 cm 地温和气温温差除外),这主要是因为气温的增加幅度要大于地温,且随着土壤深度的增加,地气温差的减小幅度加大。桂林年均地温和四季气温、地温大多无气候突变现象,仅有年均气温和夏季 80 cm 地温分别在 1997 和 1977 年出现气候突变。春季气温和 5—80 cm 各层地温的异常偏低年较一致;秋季气温和 40、80 cm 地温的异常偏低年相同;夏、冬季气温和地温的异常年份对应性较差;而年均气温和各层地温的异常偏高年较一致。

关键词:桂林;气温;地温;变化

Analysis on variation characteristics of air temperature and ground temperature in Guilin from 1961 to 2010

CHEN Chao¹, ZHOU Guangsheng^{1,2,*}

1 Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081, China

2 State Key Laboratory of Vegetation and Environmental Change, Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093, China

Abstract: Lots of studies on characteristics of air temperature have been done, however, few studies on characteristics of ground temperature and its relationship with air temperature have been done yet. Based on the data of monthly mean air temperature and monthly mean ground temperature at 0—80cm soil depths in Guilin weather station from 1961 to 2010, variation trend, abrupt change, anomalous years of annual and seasonal mean air and ground temperatures were investigated in this paper. The difference and relationship between annual mean ground and air temperatures were also analyzed. The results showed that there were close correlations between ground temperature at different depths and air temperature. Annual and seasonal mean air and ground temperatures mainly displayed significant increasing trends in past 50 years, but the rise of mean air temperature and mean ground temperature was asymmetric. The annual mean air temperature was lower than annual mean ground temperature at different layers by 1.3—2.1℃. The ascending rate and range of annual mean air temperature were 0.184℃/10a and 0.8℃ respectively, which were higher than changes of annual mean ground temperature

基金项目:国家重点基础研究发展计划项目(2010CB951303);中国气象局经常性专项业务经费

收稿日期:2011-12-31; **修订日期:**2012-07-10

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: gszhou@cams.cma.gov.cn

at 5—80cm depths. The ascending rates of air temperature and ground temperature at 5—40cm were the most obvious in winter, and the most significant increase of 0cm and 80cm ground temperature happened in autumn and summer respectively. The mean ground temperature had a decreasing trend with the increase of the soil depth in both spring and summer. The air temperature was lower than 0—15cm ground temperature and higher than 20—80cm ground temperature in spring, and air temperature was lower than 0—40cm ground temperature and higher than 80cm ground temperature in summer. The mean ground temperature had a rising trend with the increase of soil depth in autumn and winter. The air temperature was lower than ground temperature at different depths in autumn and winter. Under global warming, the response of annual and seasonal air temperature to climate change was more significant than ground temperature at 5—80cm depths. The difference between annual ground temperature at 5—80cm depths and annual air temperature was reduced by 0.1—0.4℃ in past 50 years, since the ascending rate of air temperature was larger than ground temperature, and the reducing amplitude of difference between annual mean ground temperature at 5—80cm depths and annual mean air temperature was increased with the increase of soil depth. The abrupt changes of annual mean air temperature and ground temperature at 80cm depth in summer occurred in 1997 and 1977 respectively. The anomalous lower years of air temperature and ground temperature at 5—80cm depths were relatively consistent in spring. There were the same anomalous lower years between air temperature and ground temperature at 40—80cm depths. The anomalous years of air and ground temperatures were less consistent in summer and winter. There were good consistent of anomalous warm years between annual air and ground temperatures.

Key Words: Guilin; air temperature; ground temperature; variation

第四次“政府间气候变化专门委员会”的评估报告(简称 IPCC)指出^[1]:近 100 年(1906—2005 年)全球平均地表温度上升了 0.74℃,过去 50a 的升温速率几乎是过去 100a 的 2 倍,其中以北半球中高纬度大陆增温最为明显。近百年来,中国的气候变化和全球基本一致,平均气温升高了 0.5—0.8℃^[2]。

气温变化不可避免地引起地表温度的变化^[3]。研究表明,近百年来前苏联大多数气象台站 0.4—3.2 m 深度的年均地温呈升高趋势^[4];20 世纪 80 年代以来瑞士阿尔卑斯山地表 10 m 内的多年冻土层温度的增温速率达(0.5—1.0℃)/10a^[5];20 世纪 80 年代后期至 1996 年间阿拉斯加南北方向的多年冻土上限处温度升高了 0.5—1.5℃^[6];20 世纪 60—90 年代青藏高原风火山一带多年冻土 15m 深处的温度升高了 0.2—0.3℃^[7];1961—2001 年青藏铁路南部和北部的地面温度增加显著,特别是铁路南部地面温度升高速率平均达 0.56℃/10a,中部较小,为 0.34℃/10a^[8];1970—1990 年大兴安岭阿木尔地区 0.2 m 层的地温上升了 0.8℃^[9];1961—1996 年雅鲁藏布江中游大部地区浅层地温呈上升趋势,而且冬春较汛期升幅要高^[10];1961—2005 年云南西双版纳各年、季 0—20 cm 平均地温均呈现极显著的升高趋势^[11];1958—1990 年黑龙江上游河谷地区 10 m 深处的地温上升了 0.3—0.6℃^[12]。这些研究表明,气候变化背景下地温具有升高的趋势。但是,不同气候区(如干旱、湿润、青藏高原等气候区)的地温变化规律及其与气温的关系如何仍缺乏系统的研究。

目前,模拟试验方法成为研究全球变化与陆地生态系统关系的重要手段之一^[13],其中,红外辐射器增温法已被广泛用于生态系统控制实验,该装置通过悬挂在样地上方、可散发红外辐射的灯管来实现增温^[14],较开顶式气室和温室更真实地反映了野外条件,特别是非对称性增温对植物的影响^[15-20]。然而,红外辐射器增温方法更多地改变了近地面气温,其对土壤温度变化的影响及能否合理地模拟作为植物整体的地表与地下温度环境仍缺乏相关的研究,从而制约着模拟试验结果的机理解释与推广应用。为此,迫切需要弄清不同气候区(如干旱、湿润、青藏高原等气候区)的地温变化规律及其与气温的关系,以为生态系统模拟试验的设计及其结果解释提供依据。

本研究试图以亚热带湿润地区的广西桂林气象站为研究对象,利用 1961—2010 年的气温和 0—80 cm 各

层平均地温的逐月资料,研究分析近 50 年桂林气温和各层地温的年代和季节变化趋势、地气温差变化、气候突变和异常年份以及气温和地温关系,以为正确认识和评估气候变化对陆地生态系统的影响及设计模拟试验等提供依据。

1 材料与方法

1.1 研究地区及数据来源

广西桂林地处南岭山系的西南部,属中亚热带季风气候,境内气候温和,雨量充沛,无霜期长,光照充足,热量丰富,夏长冬短,四季分明且雨热基本同季,气候条件十分优越,1961—2010 年年均气温 19.0 ℃,年均降水量 1887.1 mm,年均日照时数 1528.3 h。地表植被覆盖率高,以红壤土为主,土层深厚,耕作性良好。

本研究采用国家气象信息中心提供的广西桂林气象站气温资料和 0 cm 及其以下到 80 cm 的 7 层(0、5、10、15、20、40、80 cm)地温资料(表 1)。在亚热带地区选择桂林为研究对象是因为该站点的气温和地温资料年代较长,且资料完整性较好。选用 80 cm 层以上的地温资料主要是考虑在 0—80 cm 层的资料相对较全,80 cm 层以上地温受深层热源影响相对较小;深层 160 cm 和 320 cm 的资料不全,且 160 cm 和 320 cm 深层地温的热源一部分来自于地壳,气候扰动对其影响很小^[21]。按 12—2 月为冬季,3—5 月为春季,6—8 月为夏季,9—11 月为秋季生成逐季序列,分析年、季平均气温和各层平均地温的年际和年代际变化。

表 1 气象站情况

Table 1 The status of weather station

气象站 Weather station	经度 Longitude /°E	纬度 Latitude /°N	海拔高度 Altitude/m	资料起止年 Data
桂林	110.30	25.32	164.4	1961—2010

1.2 方法

1.2.1 气候倾向率

平均气温、平均地温的气候倾向率采用一次线性方程表示,即:

$$Y = a_0 + a_1 t \quad (1)$$

式中, Y 为平均气温或地温, a_0 为常数, a_1 为线性趋势项, t 为时间,把 $a_1 \times 10$ 表示为平均气温或地温每 10a 的气候倾向率。

1.2.2 累积距平和信噪比

气候突变是气象要素变化过程中存在的某种不连续现象,常用累积距平曲线确定:

$$C(t) = \sum_{i=1}^t (X_i - \bar{X}) \quad (2)$$

式中, $C(t)$ 为气象要素累积距平, X_i 为平均气温或地温的历年值, $\bar{X}$ 为平均气温或地温多年平均值。若气象要素累积距平绝对值达到最大时,所对应的 t 为突变年份。

为了检验转折是否达到气候突变的标准,对转折年份计算它们的信噪比^[22]:

$$S/N = \frac{|\bar{X}_1 - \bar{X}_2|}{S_1 + S_2} \quad (3)$$

式中, S/N 为信噪比, $\bar{X}_1$ 、 $\bar{X}_2$ 和 S_1 、 S_2 分别为转折年份前后两阶段平均气温或地温的平均值和标准差。当 S/N 大于 1.0 时,认为存在气候突变,最大信噪比的时间定义为气候突变出现的时间。

1.2.3 距平和标准差

气候异常是气候要素的距平达到一定数量级(如 1—3 倍均方差以上)的气候状况。世界气象组织对气候异常提出两种判别标准,一是距平超过标准差的 2 倍以上,二是它出现的几率为 25a 以上一遇。本研究采用距平大于标准差的 2 倍作为异常,分析气温和地温的异常特征^[23]。

2 结果分析

2.1 气温与地温变化趋势的关系

近 50 年来,桂林的气温和各层地温都以增温为主,但年均气温明显低于各层地温(图 1),地气温差为正表明,桂林地区地表对大气的加热作用大于冷却作用,以向大气输送热量居主导地位。

利用 1961—2010 年的年均气温和年均 0 cm 地温资料,建立 1961—2010 年地气温序列。应用统计回归方法建立地气温线性关系的相关系数 R 达 0.906,通过 0.001 显著性检验(图 2)。近 50 年年均气温与同期各层(0—80 cm)平均地温的线性回归表明(表 2),各相关系数均在 0.784 以上且均通过 0.001 显著性检验,说明地温与气温的变化趋势具有较好的一致性。

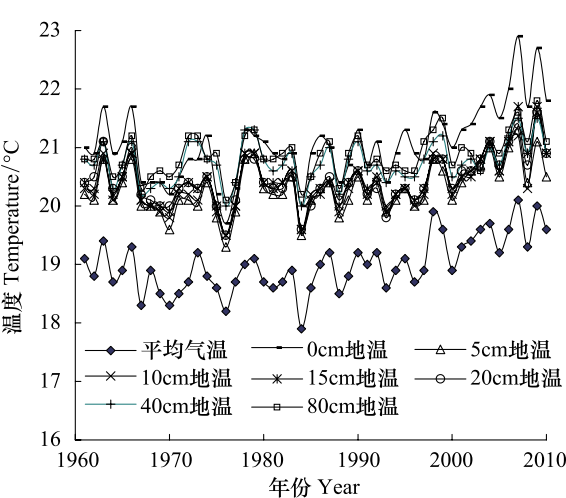


图 1 桂林年均气温和年均地温变化
Fig.1 Changes of annual mean air and ground temperatures in Guilin

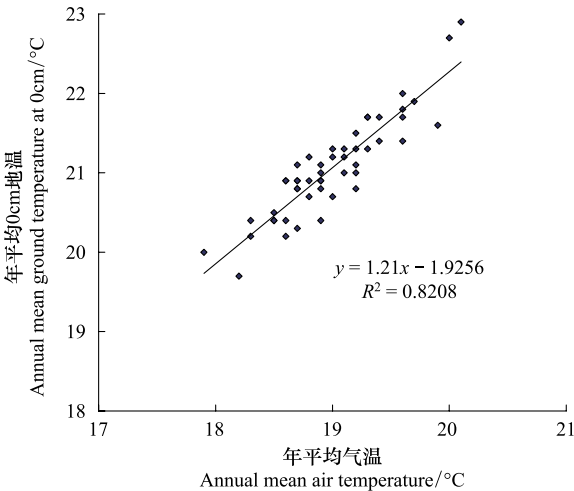


图 2 桂林年均气温和年均 0cm 地温的关系
Fig.2 Relationship between annual mean air temperature and annual mean ground temperature at 0cm in Guilin

表 2 年均气温与各层年均地温的回归关系

土壤深度 Soil depth/cm	回归方程 Regression equation	相关系数 Correlation coefficient
0	$y = 1.21x - 1.9256$	0.906
5	$y = 0.7798x + 5.4899$	0.877
10	$y = 0.8032x + 5.1474$	0.870
15	$y = 0.8182x + 4.8972$	0.875
20	$y = 0.7877x + 5.4872$	0.880
40	$y = 0.597x + 9.4029$	0.784
80	$y = 0.6061x + 9.3555$	0.793

x 为年平均气温($^{\circ}\text{C}$); y 为年平均地温($^{\circ}\text{C}$)

2.2 气温和地温的年代际变化

表 3 列出了桂林年均气温和地温的年代际平均、1961—2010 年多年平均及气候倾向率。近 50 年来桂林的增温极其显著(通过 0.001 显著性检验),年均气温在 2000 年代较 50a 平均气温上升了 0.6°C ,是近 50 年中最暖的 10a;1960—1980 年代分别比 50a 平均偏低 0.2°C 、 0.2°C 和 0.3°C ;1990 年代偏高 0.1°C ;1960 年代到 2000 年代的 50a,气温上升了 0.8°C ;各个年代气温的变化幅度有所不同,在 1960—1970 年代没有升温,到了 1980 年代降低了 0.1°C ,1990 年代升温明显,1980—1990 年代升高了 0.4°C ,到了 2000 年代继续升温,1990—2000 年代升高了 0.5°C 。

土壤各层地温从 1960 年代至 2000 年代总体呈升高趋势,升温幅度比较明显(通过 0.001 显著性检验),

但并不是均匀升温的。1960—1990 年代是一个相对平稳的时段,各层地温较 50 年平均持平或偏低 0.1—0.4 °C;2000 年代温度迅速上升,各层地温达到近 50 年来的最高值,较 50 年平均偏高了 0.2—0.8 °C。1960 年代到 2000 年代的 50 年,各深度地温升高了 0.4—1.0 °C。

比较 1961—2010 年平均气温和各层地温的气候倾向率和变化幅度可以看出,近 50 年平均气温为 19.0 °C,低于各层的 50 年平均地温 1.3—2.1 °C;但年均气温的增温率和增温幅度分别为 0.184 °C/10a 和 0.8 °C,高于除 0 cm 地温外其它各层年均地温的增温率 0.071—0.138 °C/10 a 和增温幅度 0.4—0.7 °C。由此表明,在气候变暖前提下,年均气温比地温(0 cm 地温除外)的响应更快、更强烈,气温和地温的升温存在非对称性。

表 3 桂林年均气温和地温的年代际平均、50 年平均及其气候倾向率

Table 3 Interdecadal mean air and ground temperatures, annual mean air and ground temperatures in recent 50 years, and climatic trend rate of annual mean temperatures in Guilin

参数 Index	年代际平均温度 Interdecadal mean temperatures/°C					50a 平均温度 Mean temperature in recent 50 years/°C	气候倾向率 Climatic trend rate /(°C/10a)
	1961—1970	1971—1980	1981—1990	1991—2000	2001—2010		
平均气温 Mean air temperature	18.8	18.8	18.7	19.1	19.6	19.0	0.184
0cm 地温 0cm ground temperature	20.9	20.7	20.8	21.0	21.9	21.1	0.234
5cm 地温 5cm ground temperature	20.2	20.2	20.2	20.3	20.8	20.3	0.121
10cm 地温 10cm ground temperature	20.3	20.3	20.3	20.3	20.9	20.4	0.130
15cm 地温 15cm ground temperature	20.3	20.3	20.3	20.3	21.0	20.4	0.138
20cm 地温 20cm ground temperature	20.4	20.3	20.3	20.3	21.0	20.4	0.112
40cm 地温 40cm ground temperature	20.6	20.8	20.7	20.7	21.0	20.7	0.071
80cm 地温 80cm ground temperature	20.7	20.9	20.8	20.9	21.1	20.9	0.093

2.3 气温和地温的季节变化

表 4 是桂林四季气温和地温的年代际平均、50 年平均及气候倾向率。近 50 年来四季气温和土壤各层地温大部分以升温为主,仅有夏季 5—15 cm 和 40 cm 地温呈略微减小的趋势。四季气温 2000 年代与 50a 平均相比分别上升了 0.7、0.3、0.7、0.6 °C,是近 50 年中最暖的 10a;1960 年代到 2000 年代的 50a,四季气温分别增加了 0.8、0.5、0.9、0.9 °C。春、秋和冬季土壤各层地温的年代际变化与气温类似,最高温度出现在 2000 年代,与 50a 平均相比分别上升了 0.3—1.0、0.2—1.0、0.3—0.7;1960 年代到 2000 年代的 50a,春、秋和冬季各层地温分别增加了 0.3—1.1、0.4—1.3、0.1—1.0 °C。夏季 0 cm 地温的最高值出现在 2000 年代,而其它各层地温的最高值出现在 1980 年代;1960 年代到 2000 年代的 50a 夏季各层地温的变化值为-0.1—0.8 °C。

平均气温、5—40 cm 地温在冬季的增温速率最高,分别为 0.269、0.229、0.218、0.206、0.182 °C/10 a 和 0.197 °C/10 a;而 0 cm 和 80 cm 地温增温速率的最高值分别出现在秋季和夏季。

春季和夏季,随着土壤深度的增加,地温呈减小趋势;春季气温的增温率 0.158 °C/10 a 小于 0 cm 和 15 cm 地温的增温率 0.239 °C/10 a 和 0.171 °C/10 a 而大于其它各层地温的增温率 0.021—0.157 °C/10 a,气温的 50 年平均小于 0—15 cm 地温(温差 0.1—1.2 °C)而大于 20—80 cm 地温(温差 0.1—0.7 °C);夏季气温的增温率 0.089 °C/10 a 小于 0 cm 和 80 cm 而大于其它各层地温的变化率,气温的 50a 平均小于 0—40 cm(温差 0.6—3.6 °C)而大于 80 cm 地温(温差 0.5 °C)。秋季和冬季与春、夏季相反,随着土壤深度的增加,地温呈增加趋势;秋季气温的增温率 0.215 °C/10a 小于 0 cm 地温的增温率 0.276 °C/10a 而大于其它各层地温的增温率 0.075—0.162 °C/10a,而气温的 50a 平均小于各层的地温(温差 1.8—3.6 °C);冬季气温的增温率

0.269 °C/10 a 大于除 0 cm 外其它各层地温的增温率 0.024—0.229 °C/10a, 气温的 50a 平均小于各层的地温 (温差 0.8—5.0 °C)。总体来看, 近 50 年来四季气温的增温速率要大于除 0cm 外其它各层地温的变化。

由此表明, 气候变暖背景下, 四季平均气温比除 0 cm 外其它各层地温的响应更快、更强烈。

表 4 桂林季节气温和地温的年代际平均(°C)、50 年平均(°C)及气候倾向率(°C/10a)

Table 4 Interdecadal seasonal mean air and ground temperatures(°C), seasonal mean air and ground temperatures in recent 50 years(°C), and climatic trend rate of seasonal mean temperatures(°C/10a) in Guilin

季节 Season	年代 Interdecadal	平均气温 Mean air temperature	0 cm 地温 0cm ground temperature	5 cm 地温 5cm ground temperature	10 cm 地温 10cm ground temperature	15 cm 地温 15cm ground temperature	20 cm 地温 20cm ground temperature	40 cm 地温 40cm ground temperature	80 cm 地温 80cm ground temperature
春季 Spring	1960s	18.4	19.6	18.9	18.7	18.5	18.4	18.4	17.7
	1970s	18.2	19.3	18.7	18.5	18.4	18.2	18.5	17.9
	1980s	18.1	19.4	18.6	18.5	18.3	18.1	18.2	17.6
	1990s	18.4	19.6	18.8	18.6	18.4	18.3	18.2	17.8
	2000s	19.2	20.7	19.6	19.5	19.4	19.2	18.7	18.3
	50a 平均/°C	18.5	19.7	18.9	18.8	18.6	18.4	18.4	17.8
	气候倾向率 /(°C/10a)	0.158	0.239	0.138	0.157	0.171	0.157	0.021	0.102
夏季 Summer	1960s	27.3	31.1	29.6	29.3	29.0	28.8	27.9	26.3
	1970s	27.3	30.5	29.2	29.0	28.7	28.4	28.3	26.9
	1980s	27.6	31.4	29.9	29.6	29.3	29.0	28.5	27.4
	1990s	27.4	30.8	29.2	29.0	28.7	28.4	28.0	27.2
	2000s	27.8	31.6	29.5	29.3	29.1	28.8	27.9	27.1
	50 年平均/°C	27.5	31.1	29.5	29.2	29.0	28.7	28.1	27.0
	气候倾向率 /(°C/10a)	0.089	0.103	-0.023	-0.011	-0.019	0.011	-0.017	0.17
秋季 Autumn	1960s	20.5	23.1	22.3	22.6	22.8	23.0	23.5	24.1
	1970s	20.4	23.2	22.5	22.9	23.1	23.2	23.8	24.3
	1980s	20.5	23.0	22.3	22.7	22.9	23.0	23.7	24.3
	1990s	20.6	23.2	22.4	22.7	22.8	22.9	23.6	24.3
	2000s	21.4	24.4	23.1	23.4	23.6	23.7	23.9	24.5
	50 年平均/°C	20.7	23.4	22.5	22.8	23.0	23.2	23.7	24.3
	气候倾向率 /(°C/10a)	0.215	0.276	0.162	0.151	0.149	0.121	0.079	0.075
冬季 Winter	1960s	9.0	9.8	10.0	10.5	11.0	11.4	12.6	14.5
	1970s	9.1	9.9	10.2	10.7	11.1	11.4	12.6	14.3
	1980s	8.8	9.5	9.7	10.3	10.7	11.0	12.2	13.8
	1990s	9.8	10.4	10.6	11.0	11.3	11.6	12.8	14.3
	2000s	9.9	10.8	10.8	11.3	11.8	12.1	13.4	14.6
	50 年平均/°C	9.3	10.1	10.3	10.8	11.2	11.5	12.7	14.3
	气候倾向率 /(°C/10a)	0.269	0.269	0.229	0.218	0.206	0.182	0.197	0.024

2.4 地气温差的变化

近 50 年来, 桂林 0 cm 地温和气温温差呈升高趋势, 而其它各层地温和气温的温差呈现减小趋势 (图 3), 这主要是因为气温的增加幅度要大于 5—80 cm 地温而小于 0 cm 地温。0—80 cm 地温和气温的温差在 1960—1980 年代变化幅度不大, 到 1990 年代地气温差明显减小, 2000 年代 0—20 cm 地气温差和 1990 年代相比持平或升高, 而 40 cm 和 80 cm 地气温差继续减小; 1960 年代到 2000 年代的 50a, 0 cm 地温和气温温差升高了 0.2 °C, 5—80 cm 地温和气温温差分别降低了 0.2、0.2、0.1、0.2、0.4、0.3 °C (表 5)。

5—80 cm 年均地温和气温温差的气候倾向率为 -0.113 — -0.046 $^{\circ}\text{C}/10\text{a}$,随着土壤深度的增加,地温和气温温差的减小速率增加,即土壤越深,地气温温差的减小幅度越大。

2.5 气温和地温的气候突变和异常特征

利用式(2)、(3) 计算桂林平均气温和各层平均地温气候突变年份(表 6)的结果表明,年均气温和夏季 80 cm 地温的突变年分别出现在 1997 和 1977 年,即气温和地温从一个相对偏冷期跃变为一个相对偏暖期;而年均地温和四季气温、地温大多未出现气候突变现象。

桂林年、季平均气温和各层平均地温的异常年份(表 7)特征:首先,春季平均气温在 1996 年异常偏低,这与 5—80 cm 平均地温有相同的异常偏低年,而仅有 0 cm 地温在 2007 年出现了异常偏高现象。夏季,0、15cm 和 20cm 地温在 1976 年出现异常偏低现象,40 cm 和 80 cm 地温在 1978 年异常偏高,5 cm 和 10 cm 地温无异常年份,而平均气温和各层地温间无相同的异常年份。秋季,平均气温、40 cm 和 80 cm 均在 1967 年出现异常偏低现象;而平均气温的异常偏高年为 1998 年,与 0—20 cm 地温的异常偏高年 1974 年不同。冬季,平均气温的异常偏高年为 1987 和 1999 年,无异常偏低年,这与各层地温的异常年份不同;各层地温的异常偏高和偏低年主要出现在 2009 和 1984 年。其次,年均气温和年均地温的异常年份较多;年均气温在 2007

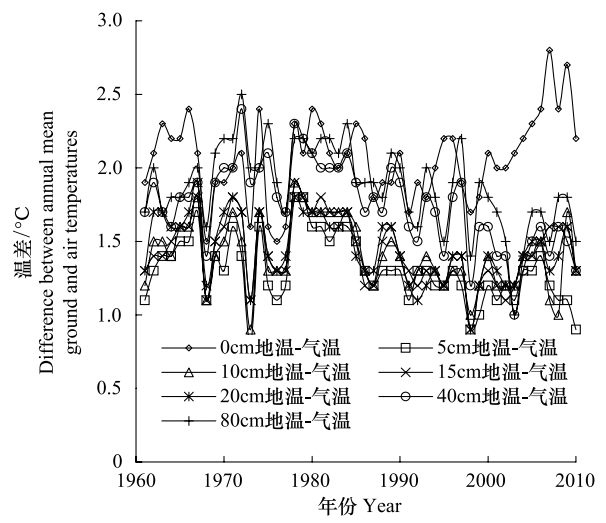


图3 桂林年均地温和气温温差的变化
Fig.3 Changes of difference between annual mean ground and air temperatures in Guilin

表 5 桂林年均地温和气温温差的年代际平均、50 年平均及气候倾向率

Table 5 Interdecadal difference between mean ground and air temperatures, annual mean temperature difference in recent 50 years, and climatic trend rate of annual mean temperature difference in Guilin

项目 Item	年代际平均 Interdecadal mean temperatures/ $^{\circ}\text{C}$					50a 平均 Mean temperature in recent 50 years / $^{\circ}\text{C}$	气候倾向率 Climatic trend rate / $(^{\circ}\text{C}/10\text{a})$
	1961—1970	1971—1980	1981—1990	1991—2000	2001—2010		
0 cm 地气温差 Difference between 0cm ground temperature and air temperature	2.1	2.0	2.1	1.9	2.3	2.1	0.050
5 cm 地气温差 Difference between 5cm ground temperature and air temperature	1.4	1.4	1.4	1.2	1.2	1.3	-0.064
10 cm 地气温差 Difference between 10cm ground temperature and air temperature	1.5	1.5	1.5	1.3	1.3	1.4	-0.054
15 cm 地气温差 Difference between 15cm ground temperature and air temperature	1.5	1.6	1.5	1.3	1.4	1.4	-0.046
20 cm 地气温差 Difference between 20cm ground temperature and air temperature	1.6	1.6	1.5	1.2	1.4	1.5	-0.072
40 cm 地气温差 Difference between 40cm ground temperature and air temperature	1.8	2.1	1.9	1.6	1.4	1.7	-0.113
80 cm 地气温差 Difference between 80cm ground temperature and air temperature	1.9	2.1	2.0	1.8	1.6	1.9	-0.092

和 2009 年异常偏高,这与各层地温的异常偏高年较一致;而年均气温的异常偏低年出现在 1984 年,仅与 40 cm 地温有相同的异常偏低年;各层地温间异常年份的一致性较好,异常偏高和偏低年大多分别出现在 2007、2009 年和 1976 年。

表 6 桂林年、季平均气温和地温的突变年份

Table 6 Abrupt change yearsofannual and seasonal mean air and ground temperatures in Guilin

参数 Index	春季 Spring	夏季 Summer	秋季 Autumn	冬季 Winter	年 Year
平均气温 Mean air temperature	—	—	—	—	1997
0 cm 地温 0cm ground temperature	—	—	—	—	—
5 cm 地温 5cm ground temperature	—	—	—	—	—
10 cm 地温 10cm ground temperature	—	—	—	—	—
15 cm 地温 15cm ground temperature	—	—	—	—	—
20 cm 地温 20cm ground temperature	—	—	—	—	—
40 cm 地温 40cm ground temperature	—	—	—	—	—
80 cm 地温 80cm ground temperature	—	1977	—	—	—

“—”为未出现气候突变现象

比较平均气温和各层平均地温的异常年份,春季平均气温和 5—80 cm 各层平均地温的异常偏低年较一致,夏季平均气温和和各层地温间无相同的异常年份,秋季平均气温仅和 40、80 cm 地温的异常偏低年一致,冬季平均气温和地温的异常年份对应性较差,而年均气温和各层地温的异常偏高年份较一致。

表 7 桂林年、季平均气温和地温的异常年份

Table 7 Anomalous years ofannual and seasonal meanair and ground temperatures in Guilin

参数 Index	春季 Spring	夏季 Summer	秋季 Autumn	冬季 Winter	年 Year
平均气温 Mean air temperature	1996(—)	1974,1997(—) 2003,2007(+)	1967(—)1998(+)	1987,1999(+)	1984(—)2007,2009(+)
0 cm 地温 0cm ground temperature	1976(—)2007(+)	1976,1977(—)	1974(+)	1984(—)2009(+)	1976(—)2007,2009(+)
5 cm 地温 5cm ground temperature	1976,1988,1996(—)	—	1974(+)	1968,1984(—)	1976(—)2007(+)
10 cm 地温 10cm ground temperature	1976,1988,1996(—)	—	1974(+)	2009(+)	1976(—)2009(+)
15 cm 地温 15cm ground temperature	1976,1988,1996(—)	1976(—)	1974(+)	1984(—)2009(+)	1976(—)2007,2009(+)
20 cm 地温 20cm ground temperature	1976,1988,1996(—)	1976(—)	1974(+)	1984(—)2009(+)	1976(—)2007,2009(+)
40 cm 地温 40cm ground temperature	1988,1996(—)	1972,1978(+)	1967(—)	1984(—)2009(+)	1976,1984(—)2007(+) 2009(+)
80 cm 地温 80cm ground temperature	1988,1996(—)	1978(+)	1967,2002(—)	2009(+)	1976(—)2007,2009(+)

(+)为异常偏高,(—)为异常偏低,—为无异常

3 讨论

全球气候变化正经历一次以变暖为主要特征的变化,与此同时,北半球和我国气候变暖中又出现了增温的非对称性特征,即冬、春季与夜间的增幅幅度显著的高于夏、秋季和白天^[1,24-27]。昼夜温度对作物的生理效应不同,日最高气温和日最低气温的升高可能对植物生长有不同影响,国内外学者通过模型和试验等方法对此进行了研究^[16-20]。但是,地温也是影响植物生长的主要因素之一,在气候变暖背景下,关注地温的变化趋势,研究气温和地温增温特征的一致性与否,以期进一步研究各因素对作物生长的影响机理,可以为制定合理的农业气候变化适应措施和农业管理提供理论支撑。过去,很多学者对不同时期、不同地区气温和地温的变化趋势开展了一些研究^[28-35],但是他们都没有关注气温和地温在变化过程中的关系,缺少二者间的对比

分析。

本文对广西桂林气温和地温的研究表明,近 50 年来,各年、季气温和各层地温大部分呈显著的升高趋势,这与已有研究结果一致^[28-35];但本研究还表明,桂林气温和地温的升温速率和幅度不一致,即升温存在非对称性,不同于 IPCC 第三次评估报告^[36]提出的升温存在时间尺度(夜间增温大于白天,冬季增温大于夏季)和空间尺度(高纬度地区增温大于低纬度地区)的非对称性。现有的全国和不同区域地气温差研究^[37-41]大多仅关注地表(0 cm)温度和气温温差的季节和年际变化,指出全国大部地区的地气温差场为正值,西北干旱区冬季和秋末地气温差呈减小趋势,其它季节地气温差呈上升趋势。本研究对桂林 0—80 cm 各层地温和气温的温差分析表明,各层地温和气温的温差为正,除 0 cm 地温和气温温差存在年际间的升高趋势外,由于气温的增幅大于 5—80 cm 各层地温的增幅,近 50 年来 5—80 cm 地温和气温的温差都呈减小趋势。由于气温和地温间呈现增温的非对称性特征,气温和地温的年、季气候突变现象和异常年份也存在着差异。因此,桂林地温与近地面层气温变化特征的不一致性是否会造成利用气温数据来评估气候变化对陆地生态系统影响的结论存在较大误差;同时,桂林属于亚热带湿润地区,而对于其它气候类型地区来说地温和气温的变化趋势是否一致,这些都是需要进一步讨论的问题。

4 结论

本研究利用气温和地温的逐月资料,分析了近 50 年桂林气温和各层地温的年代和季节变化趋势、地气温差变化、气候突变和异常年份以及气温和地温关系,主要结论如下:

(1) 桂林年均气温与各层地温的相关系数均在 0.784 以上且均通过 0.001 显著性检验,这说明地温与气温的变化趋势具有较好的一致性。

(2) 近 50 年来,年均气温和各层地温均呈极显著的升高趋势,但年均气温低于各层地温 1.3—2.1 °C。年均气温的增温速率和增温幅度 0.184°C/10a 和 0.8 °C 高于除 0 cm 地温外其它各层地温的变化。可以看出,气候变暖的背景下,年均气温比地温(0 cm 地温除外)的响应更快、更强烈,气温和地温的升温存在非对称性。

(3) 四季气温和各层地温大部分以升温为主,仅有夏季 5—15 cm 和 40 cm 地温呈略微减小的趋势,平均气温、5—40 cm 地温在冬季的增温速率最高,而 0 cm 和 80 cm 地温增温速率的最高值分别出现在秋季和夏季。春季和夏季,随着土壤深度的增加,地温呈减小趋势,春季气温的 50 年平均小于 0—15 cm 而大于 20—80 cm 地温,夏季气温的 50a 平均小于 0—40 cm 而大于 80 cm 地温;秋季和冬季,随着土壤深度的增加,地温呈增加趋势,秋、冬季气温的 50a 平均小于各层的地温。总体来看,近 50 年来四季气温的增温速率要大于除 0 cm 外其它各层地温的变化,由此表明,气候变暖背景下,四季平均气温比除 0 cm 外其它各层地温的响应更快、更强烈。

(4) 近 50 年来,桂林 0 cm 地温和气温温差升高了 0.2 °C,而其它各层地温和气温的温差减小了 0.1—0.4 °C,这主要是因为气温的增加幅度要大于 5—80 cm 地温而小于 0 cm 地温;5—80 cm 年均地气温差的气候倾向率为-0.113—-0.046°C/10a,且随着土壤深度的增加,地气温差的减小幅度加大。

(5) 桂林年均气温和夏季 80 cm 地温的突变年分别出现在 1997 和 1977 年,即气温和地温从一个相对偏冷期跃变为一个相对偏暖期;而年均地温和四季气温、地温大多未出现气候突变现象。

(6) 春季平均气温和 5—80 cm 各层平均地温的异常偏低年较一致,秋季平均气温和 40、80 cm 地温的异常偏低年一致,夏、冬季平均气温和地温的异常年份对应性较差,而年均气温和各层地温的异常偏高年较一致。

References:

- [1] IPCC. Summary for Policymakers of Climate Change 2007: The Physical Science Basis // Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.
- [2] Qin D H, Ding Y H, Su J L, Ren J W, Wang S W, Ren R S, Yang X Q, Wang S M, Liu S Y, Dong G R, Lu Q, Huang Z G, Du B L, Luo Y.

- Assessment of climate and environment changes in China (I): climate and environment changes in China and their projection. *Advances in Climate Change Research*, 2005, 1(1): 4-9.
- [3] Li S X, Nan Z T, Zhao L. Impact of freezing and thawing on energy exchange between the system and environment. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2002, 24(2): 109-116.
- [4] Gilichinsky D A, Barry R G, Bykhovets S S, Sorokovikov V A, Zhang T, Zudian S L, Fedorov-Davydov D G. A century of temperature observations of soil climate: methods of analysis and long-term trends // Lewkowicz A G, Allard M, eds. *Proceedings of the Seventh International Conference on Permafrost*, June 23-27, 1998 Yellowknife. Canada, 1998: 313-317.
- [5] Haeblerli W, Hockley M, Keller F. Monitoring the long-term evolution of mountain permafrost in the Swiss Alps // *Proceedings of Sixth International Conference on Permafrost*, July 5-9. Guangzhou: South China University of Technology Press, 1993, 1: 214-219.
- [6] Osterkamp T E, Romanovsky V E. Evidence for warming and thawing of discontinuous permafrost in Alaska. *Permafrost and Periglacial Processes*, 1999, 10(1): 17-37.
- [7] Wang S L. Permafrost changes along the Qinghai-Xizang highway during the last decades. *Arid Land Geography*, 1993, 16(1): 1-8.
- [8] Li D L, Zhong H L, Wu Q B, Zhang Y J, Hou Y L, Tang M C. Analyses on changes of surface temperature over Qinghai-Xizang plateau. *Plateau Meteorology*, 2005, 24(3): 291-298.
- [9] Gu Z W, Zhou Y W, Liang F X, Liang L H, Zhang Q B. Permafrost features and their changes in Amur area, Da Hinggan Ling prefecture. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 1993, 15(1): 34-40.
- [10] Xiang Y Y, Du J. Features of Tibet soil temperature and its relation with rainfall. *Journal of Chengdu Institute of Meteorology*, 1999, 14(1): 20-25.
- [11] Meng G Y, Yu Y. Responses of soil temperature in shallow layers to climatic change in Xishuangbanna from 1961 to 2005. *Meteorological Science and Technology*, 2010, 38(3): 316-320.
- [12] Yu S Q, Wang Z C. The Degeneration of Permafrost in Upstream Valley Region of Heilong River // *Proceedings of Sixth International Conference on Permafrost*. Guangzhou: South China University of Technology Press, 1993, 1: 755-757.
- [13] Shen K P, Harte J. *Ecosystem Climate Manipulations* // Sala O E, Jackson R B, Mooney H A, Howarth R W, eds. *Methods in Ecosystem Science*. New York: Springer-Verlag Press, 2000: 353-369.
- [14] Shaver G R, Canadell J, Chapin III F S, Gurebitch J, Harte J, Henry G, Ineson P, Jonasson S, Melillo J, Pitelka L, Rustad L. Global warming and terrestrial ecosystems: a conceptual framework for analysis. *BioScience*, 2000, 50(10): 871-882.
- [15] Niu S L, Han X G, Ma K P, Wan S Q. Field facilities in global warming and terrestrial ecosystem research. *Journal of Plant Ecology*, 2007, 31(2): 262-271.
- [16] Dhakhwa G B, Campbell C L, LeDuc S K, Cooter E J. Maize growth: assessing the effects of global warming and CO₂ fertilization with crop models. *Agricultural and Forest Meteorology*, 1997, 87(4): 253-272.
- [17] Rosenzweig C, Tubiello F N. Effects of changes in minimum and maximum temperature on wheat yields in the central US: a simulation study. *Agricultural and Forest Meteorology*, 1996, 80(2/4): 215-230.
- [18] Gao S H, Guo J P, Zhao S Q, Zhang Y, Pan Y R. The impacts of "higher-temperature" on wheat growth and yield in China. *Scientia Atmospherica Sinica*, 1996, 20(5): 599-605.
- [19] Chen X Y, Zhao A J, Li Y J, Liu Y P. Influence of high temperature stress on seed quality of wheat. *Journal of Hebei Agricultural Sciences*, 2007, 11(1): 1-4.
- [20] Tan K Y, Fang S B, Ren S X, Zhang X S. Asymmetric trends of daily maximum and minimum temperature in global warming and its effects on agriculture ecosystems. *Journal of Applied Meteorological Science*, 2009, 20(5): 634-641.
- [21] Tang M C, Zhang J. Seasonal mean soil temperature anomaly field at depth 3. 2m and its application in prediction for flood season. *Plateau Meteorology*, 1994, 13(2): 178-187.
- [22] Huang J Y. Chapter 3: climate state change and abrupt change analysis. *Meteorological Monthly*, 1995, 21(7): 54-57.
- [23] Wei F Y. *Modern Climate Statistical Diagnosis and Prediction*. Beijing: China Meteorological Press, 1999: 29-34.
- [24] Karl T R, Jones P D, Knight R W, Kukla G, Plummer N, Razuvayev V, Gallo K P, Lindsey J, Charlson R J, Peterson T C. A new perspective on recent global warming: asymmetric trends of daily maximum and minimum temperature. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 1993, 74(6): 1007-1023.
- [25] Zhai P M, Ren F M. On changes of china's maximum and minimum temperatures in the recent 40 years. *Acta Meteorologica Sinica*, 1997, 55(4): 418-429.
- [26] Li C Y, Weng H Y, Gao X Q, Zhong M. Initial investigation of another possible reason to cause global warming. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences*, 2003, 27(5): 789-797.
- [27] Yan M H, Chen P Q, Deng W, Liang L Q. Further understanding of the Sanjiang Plain warming: changes in maximum and minimum air temperature. *Ecology and Environment*, 2005, 14(2): 151-156.
- [28] Jiang H F, Liao S H, Erike, Apar. Statistical analysis on relationship between soil surface temperature and air temperature. *Agricultural Meteorology*, 2004, 25(3): 1-4.
- [29] Li D L, Liu M, Zhong H L, Wu Q B. Interdecadal change trend of surface air and ground temperatures along Qinghai-Xizang railway and relationship between the change and terrain. *Plateau Meteorology*, 2005, 24(5): 694-699.
- [30] Li S X, WU T H. The relationship between air temperature and ground temperature in the Tibetan plateau. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2005, 27(5): 627-632.
- [31] Shi X H, Li D L, Zhao Y N, Qin N S, Wang Q C, Zhu X D. Change on temperature along Qinhai-Xizang railway since Year 1373. *Journal of*

- Desert Research, 2006, 26(6): 959-962.
- [32] Du J, Hu J, Luo B C R, Zou B Q, Lu H Y. Response of shallow geotemperature to climatic change over Tibet from 1971 to 2005. Journal of Glaciology and Geocryology, 2008, 30(5): 745-751.
- [33] Deng T H, Wang G A, Jiao J L, Yu H. Change analysis of grass temperature, ground temperature and air temperature. Meteorological and Environmental Sciences, 2009, 32(4): 47-50.
- [34] Lü L Z, Jin H J, Chang X L, Luo D L. Interannual variations of the air temperature, surface temperature and shallow ground temperature along the China-Russia crude oil pipeline. Journal of Glaciology and Geocryology, 2010, 32(4): 794-802.
- [35] Li F Y. Relationship between air temperature at 70 cm and ground temperature in Dezhou, Shandong province. Journal of Meteorological and Environmental Sciences, 2010, 26(4): 40-43.
- [36] IPCC. IPCC Third Assessment Report: Climate Change, 2001 (TAR). http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_and_data_reports.htm.
- [37] Fan L J, Wei Z G, Dong W J. The characteristic of temporal and spatial distribution of the differences between ground and air temperature in the arid region of Northwest China. Plateau Meteorology, 2004, 23(3): 360-367.
- [38] Lu X B. The Characteristics of Soil Temperature Variation in China in Recent 50 Years and the Correlation Analysis between the DGAT and Atmospheric Circulation Anomaly and Precipitation in Summer [D]. Nanjing: Nanjing University of Information Science and Technology, 2006.
- [39] Zhang W G, Li S X, Wu T H, Pang Q Q. Changes of the differences between ground and air temperature over the Qinghai-Xizang plateau. Acta Geographica Sinica, 2006, 61(9): 899-910.
- [40] Fu R, Wei Z G, Wen J, Li Z C, Lu G X. Analyses on characteristic of seasonal and interannual variation of difference between surface and air Temperature (Ts-Ta) in arid region in Northwest China. Plateau Meteorology, 2008, 27(4): 844-851.
- [41] Fu R, Wei Z G, Wen J, Li Z C. Causes of variation of earth-air temperature difference in arid regions of northwest China. Journal of Desert Research, 2010, 30(6): 1142-1149.

参考文献:

- [2] 秦大河, 丁一汇, 苏纪兰, 任贾文, 王绍武, 伍荣生, 杨修群, 王苏民, 刘时银, 董光荣, 卢琦, 黄镇国, 杜碧兰, 罗勇. 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] 李述训, 南卓铜, 赵林. 冻融作用对系统与环境间能量交换的影响. 冰川冻土, 2002, 24(2): 109-115.
- [7] 王绍令. 近数十年来青藏公路沿线多年冻土变化. 干旱区地理, 1993, 16(1): 1-8.
- [8] 李栋梁, 钟海玲, 吴青柏, 张拥军, 侯依玲, 汤懋苍. 青藏高原地表温度的变化分析. 高原气象, 2005, 24(3): 291-298.
- [9] 顾钟伟, 周幼吾, 梁凤仙, 梁林恒, 张齐兵. 大兴安岭阿木尔地区的多年冻土特征及其变化. 冰川冻土, 1993, 15(1): 34-40.
- [10] 向毓意, 杜军. 西藏浅层地温气候特征分析及与降水的关系. 成都气象学院学报, 1999, 14(1): 20-25.
- [11] 蒙桂云, 喻彦. 1961—2005 年西双版纳浅层地温对气候变化的响应. 气象科技, 2010, 38(3): 316-320.
- [15] 牛书丽, 韩兴国, 马克平, 万师强. 全球变暖与陆地生态系统研究中的野外增温装置. 植物生态学报, 2007, 31(2): 262-271.
- [18] 高素华, 郭建平, 赵四强, 张宇, 潘亚茹. “高温”对我国小麦生长发育及产量的影响. 大气科学, 1996, 20(5): 599-605.
- [19] 陈希勇, 赵爱菊, 李亚军, 刘玉萍. 高温胁迫对小麦籽粒品质的影响. 河北农业科学, 2007, 11(1): 1-4.
- [20] 谭凯炎, 房世波, 任三学, 张新时. 非对称性增温对农业生态系统影响研究进展. 应用气象学报, 2009, 20(5): 634-641.
- [21] 汤懋苍, 张建. 季平均 3.2m 地温距平场在汛期预报中的应用. 高原气象, 1994, 13(2): 178-187.
- [22] 黄嘉佑. 第三讲 气候状态变化趋势与突变分析. 气象, 1995, 21(7): 54-57.
- [23] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术. 北京: 气象出版社, 1999: 29-34.
- [25] 翟盘茂, 任福民. 中国近四十年最高最低温度变化. 气象学报, 1997, 55(4): 418-429.
- [26] 李崇银, 翁衡毅, 高晓清, 钟敏. 全球增暖的另一可能原因初探. 大气科学, 2003, 27(5): 789-797.
- [27] 闫敏华, 陈洋勤, 邓伟, 梁丽乔. 三江平原气候变暖的进一步认识: 最高和最低气温的变化. 生态环境, 2005, 14(2): 151-156.
- [28] 姜会飞, 廖树华, 叶尔克江, 阿帕尔. 地面温度与气温关系的统计分析. 中国农业气象, 2004, 25(3): 1-4.
- [29] 李栋梁, 柳苗, 钟海玲, 吴青柏. 青藏铁路沿线地面气温和地温的年际变化趋势及与地形的关系. 高原气象, 2005, 24(5): 694-699.
- [30] 李述训, 吴通华. 青藏高原地气温差之间的关系. 冰川冻土, 2005, 27(5): 627-632.
- [31] 时兴合, 李栋梁, 赵燕宁, 秦宁生, 汪青春, 朱西德. 青藏铁路沿线 1373 年以来气温和地温的变化研究. 中国沙漠, 2006, 26(6): 959-962.
- [32] 杜军, 胡军, 罗布次仁, 周保琴, 路红亚. 西藏浅层地温对气候变暖的响应. 冰川冻土, 2008, 30(5): 745-751.
- [33] 邓天宏, 王国安, 焦建丽, 余辉. 草温、0cm 地温、气温间变化规律分析. 气象与环境科学, 2009, 32(4): 47-50.
- [34] 吕兰芝, 金会军, 常晓丽, 罗栋梁. 中俄原油管道工程(漠河大庆段)沿线气温、地表和浅层地温年际变化特征. 冰川冻土, 2010, 32(4): 794-802.
- [35] 李风云. 德州 70cm 高度气温与地面温度的关系初探. 气象与环境学报, 2010, 26(4): 40-43.
- [37] 范丽军, 韦志刚, 董文杰. 西北干旱区地气温差的时空特征分析. 高原气象, 2004, 23(3): 360-367.
- [38] 陆晓波. 我国地温的变化特征及其地气温差与环流异常和夏季降水的相关分析 [D]. 南京: 南京信息工程大学, 2006.
- [39] 张文纲, 李述训, 吴通华, 庞强强. 青藏高原地气温差变化分析. 地理学报, 2006, 61(9): 899-910.
- [40] 符睿, 韦志刚, 文军, 李振朝, 卢广献. 西北干旱区地气温差季节和年际变化特征的分析. 高原气象, 2008, 27(4): 844-851.
- [41] 符睿, 韦志刚, 文军, 李振朝. 中国西北干旱区地-气温差变化成因分析. 中国沙漠, 2010, 30(6): 1142-1149.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33, No. 7 April, 2013 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- Research progress on chemical communication of development and host-finding of nematodes ZHANG Bin, HU Chunxiang, SHI Jin, et al (2003)
- Principles, indicators and sampling methods for species monitoring XU Haigen, DING Hui, WU Jun, et al (2013)

Autecology & Fundamentals

- Spatial distribution pattern of human-caused fires in Hulunbeir grassland ZHANG Zhengxiang, ZHANG Hongyan, LI Dongxue, et al (2023)
- Belowground biomass in Tibetan grasslands and its environmental control factors YANG Xiuqing, HUANG Mei, WANG Junbang, et al (2032)
- Analysis on variation characteristics of air temperature and ground temperature in Guilin from 1961 to 2010 CHEN Chao, ZHOU Guangsheng (2043)
- Winter bed-site selection by roe deer (*Capreolus capreolus*) in Huangnihe Nature Reserve ZHU Hongqiang, GE Zhiyong, LIU Geng, et al (2054)
- Leaf anatomical characteristics of the plants of grasslands in the Tibetan Plateau LI Quanfa, WANG Baojuan, AN Lihua, et al (2062)
- A research on summer vegetation characteristics & short-time responses to experimental warming of alpine meadow in the Qinghai-Tibetan Plateau XU Manhou, XUE Xian (2071)
- Cytological study on microsporogenesis of *Solanum lycopersicum* var. Micro-Tom under high temperature stress PENG Zhen, CHENG Lin, HE Yanjun, et al (2084)
- A new plant height growth process model of *Caragana* forest in semi-arid loess hilly region ZHAO Long, WANG Zhenfeng, GUO Zhongsheng, et al (2093)
- Germination inhibitory substances extracted from the seed of seven species of *Quercus* LI Qingmei, LIU Yan, LIU Guangquan, et al (2104)
- Effects of water stress and fungicide on the growth and drought resistance of *Flaveria bidentis* CHEN Dongqing, HUANGFU Chaohe, LIU Hongmei, et al (2113)
- Characters of soil seed bank in copper tailings and its adjacent habitat ... SHEN Zhangjun, OU Zulan, TIAN Shengni, et al (2121)
- Changes of soil chemical properties after different burning years in typical steppe of Yunwun Mountains LI Yuan, CHENG Jimin, WEI Lin, et al (2131)
- Effects of water and fertilizers on nitrate content in tomato fruits under alternate partial root-zone irrigation ZHOU Zhenjiang, NIU Xiaoli, LI Rui, et al (2139)
- Effect of land use on the characteristics of organic carbon and labile organic carbon in soil aggregates in Karst mountain areas LI Juan, LIAO Hongkai, LONG Jian, et al (2147)
- Mobilization of inorganic phosphorus from soils by five azotobacters ZHANG Liang, YANG Yuhong, LI Qian, et al (2157)
- Physiological-ecological responses of *Iris germanica* L. to Cd stress and its accumulation of Cd ZHANG Chengxiang, CHEN Weifeng (2165)
- The available forms and bioavailability of heavy metals in soil amended with sewage sludge TIE Mei, SONG Linlin, HUI Xiujuan, et al (2173)
- LAI-based photosynthetic light response model and its application in a rainfed maize ecosystem SUN Jingsong, ZHOU Guangsheng (2182)
- The dominant species of predatory natural enemies of three kinds of planthoppers and impact of pesticides on natural enemies in paddy field LIN Yuan, ZHOU Xiazhi, BI Shoudong, et al (2189)

Population, Community and Ecosystem

- Spatial and temporal variation of picophytoplankton in the Pearl River Estuary ZHANG Xia, HUANG Xiaoping, SHI Zhen, et al (2200)

Analysis of the relationship between species diversity and hydrologic factors during an interval of intermittent water delivery at the Lower Reaches of Tarim River, China	CHEN Yongjin, LIU Jiazhen, CHEN Yaning, et al (2212)
Fish species composition and community pattern in the continental shelf of northwestern South China Sea	WANG Xuehui, LIN Zhaojin, DU Feiyan, et al (2225)
Distribution and succession of plant communities in Lake Bita coastal swamp on the plateau region, northwestern Yunnan	HAN Dayong, YANG Yongxing, YANG Yang (2236)
Analysis on community structure and quantitative characteristics of <i>Nitraria tangutorum</i> nebkhas at different succession stage in lower reaches of Shiyang River	JIN Hujia, MA Quanlin, HE Mingzhu, et al (2248)
Resource and Industrial Ecology	
Effects of subsoiling and supplemental irrigation on dry matter production and water use efficiency in wheat	ZHENG Chengyan, YU Zhenwen, ZHANG Yongli, et al (2260)
Effects of two years' incorporation of leguminous green manure on soil properties of a wheat field in dryland conditions	ZHANG Dabin, YAO Pengwei, LI Jing, et al (2272)
Effects of planting with ridge and furrow mulching on maize growth, yield and water use efficiency in dryland farming	LI Rong, HOU Xianqing, JIA Zhikuan, et al (2282)
Urban, Rural and Social Ecology	
Effects of riparian buffers of North Mort of Beijing on air temperature and relative humidity	WU Fangfang, ZHANG Na, CHEN Xiaoyan (2292)
Characteristics of spatial and temporal variations of global solar radiation in Xi'an and relevant response in urban development	ZHANG Hongli, ZHANG Naweirui, LIU Minru, et al (2304)
Research Notes	
A analysis of macrofungal flora diversity in Langyashan Nature Reserve, Anhui Province, China	CHAI Xinyi, XU Xuefeng, WANG Meiyang, et al (2314)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索自然奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的原始创新性科研成果。特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评价和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,300 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

本期责任副主编 陈利顶

编辑部主任 孔红梅

执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 33 卷 第 7 期 (2013 年 4 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 7 (April, 2013)

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	王如松	Editor-in-chief	WANG Rusong
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元