

# 青藏高原地面加热场强度对北半球大气环流 和中国天气气候异常的影响研究\*

李栋梁 季国良 吕兰芝

(中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 兰州 730000)

**摘要** 选取拉萨、玉树和伍道梁分别作为青藏高原南部、东部和中北部地面加热场强度的代表站, 对青藏高原地面加热场强度的基本气候特征以及异常变化趋势作了分析; 对高原地面加热场强度异常对北半球大气环流和中国气候异常的影响进行了统计诊断研究.

**关键词** 青藏高原 加热场强度 北半球大气环流 天气气候异常 影响

青藏高原是世界上最高大、地形最复杂的高原, 平均海拔在 4000 m 以上. 它耸立于亚洲大陆南部的大气对流层中, 它的热力和动力作用对中国、对亚洲甚至对全球的大气环流演变都有极其重要的影响, 它直接影响中国大范围 and 长期的干旱、洪涝等天气气候的形成和演变. 1979 年 5~8 月第 1 次青藏高原气象科学实验<sup>[1]</sup>, 通过在高原地区增设 4 个探空观测站, 6 个热源观测站和 1 个气象雷达观测站, 围绕青藏高原对中国天气、气候的影响和预报方法这个总目标, 进行了广泛的研究. 1982 年 8 月至 1983 年 7 月原中国科学院兰州高原大气物理研究所再次在青藏高原进行了地面辐射平衡和热量平衡观测, 季国良等人<sup>[2,3]</sup>通过所取得的一整年的观测资料, 对高原地面加热场重新作了估算, 分区分季建立了回归方程:  $B - H = a + b(T_s - T_a)$ , 式中  $a$  和  $b$  为回归系数.

自 1993 年 8 月起, 原兰州高原大气物理研究所在藏北高原的伍道梁建立了地面能量收支观测站<sup>[4]</sup>, 用以进一步研究地面加热场的年际变化以及进行全球变化的长期监测.

1998 年 5~8 月中国科学家进行第 2 次青藏高原大气科学实验<sup>[5]</sup>, 这次实验的科学目标是揭示地-气相互作用的物理过程、高原大气边界层和对流层结构、云辐射过程, 并研究高原动力和热力作用对大气环流、季风、气候变化和灾害性天气形成和发展的影响. 这次科学实验, 再次为青藏高原气象科学研究开创了新局面.

对于青藏高原热力作用的研究表明: 青藏高原加热场强度使东亚大气环流平均槽脊的强度加强<sup>[6]</sup>, 即高压脊加强, 低压槽加深. 章基嘉等人<sup>[7]</sup>研究证实, 青藏高原地面热力异常对夏季江淮流域持续暴雨是有影响的. 钱永甫等人<sup>[8]</sup>数值模拟指出, 青藏高原的热力作用, 对 100 hPa 青藏高原的建立有巨大贡献, 对初夏季节南支急流消失、急流北跳有重要贡献. 高原及其附近地区的加热场, 对于对流层上层东风急流的加强和急流中心的形成有重大贡献. 沈如金等人<sup>[9]</sup>在研究青藏高原热力影响的数值试验中指出, 青藏高原热力作用, 在夏季季风环流特点

2001-02-12 收稿, 2001-07-18 收修改稿

\* 国家重点基础研究发展规划(G1998040803)和中国科学院知识创新工程(KzCX1-SW-04)资助项目

的形成中是很重要的. 同时, 高原及大陆加热对西太平洋副热带高压也是有影响的. 朱福康等人<sup>[10]</sup>的观测研究也表明, 东亚初夏大气环流的季节性变化, 可能与青藏高原西部加热有关. 徐国昌<sup>[11]</sup>、李栋梁等人<sup>[12]</sup>在季国良等人<sup>[2,3]</sup>建立的公式计算的基础上, 利用 EOF 方法选取青藏高原地面加热场强度代表站, 并建立了青藏高原地面加热场强度气候序列. 研究发现, 高原地区加热场强度具有明显的 3、5.5 和 12 a 周期, 冬季有较强的持续性. 并且指出, 青藏高原地区加热场强度对东亚大气环流及中国西北初夏干旱早有显著影响. 李栋梁等人<sup>[13,14]</sup>的数值试验进一步证实了这一结果.

本文在文献[15]的基础上进一步研究青藏高原不同区域地面加热场强度的变化特征及其对北半球大气环流和中国气候的影响.

## 1 资料与方法

根据文献[11,12], 本文选取拉萨和玉树分别代表青藏高原南部和东部, 利用文献[2,3]得出的公式计算其 1961~1999 年地面加热场强度; 用伍道梁代表青藏高原中北部, 采用 1980~1999 年实测地面加热场强度. 大气环流资料选用 1961~1999 年北半球 500 hPa 月平均高度场. 气象要素选取中国 216 站月降水、气温资料. 利用相关方法研究青藏高原不同区域地面加热场强度的变化特征及其内在联系, 利用遥相关研究青藏高原地面加热场强度对北半球大气环流和中国气候的影响.

## 2 青藏高原地面加热场强度的变化特征

### 2.1 青藏高原地面加热场强度的年代际变化

图 1 给出青藏高原地面加热场强度年平均序列. 可以看出, 青藏高原不同区域地面加热场强度年际变化趋势不尽相同. 高原南部(图 1(a))近 40 年基本趋势呈线性增强, 由弱到强的转折期在 20 世纪 70 年代末到 80 年代初. 1997 年是近 40 年最强的年份. 高原东部(图 1(b))地面加热场强度随时间的演变可划分为两个阶段: 1973 年以前呈明显的下降趋势, 以后总体呈现出上升趋势, 但基本保持在平均值附近强弱振动. 高原中北部(图 1(c))因为从 1980 年才有地温观测, 资料年代较短, 地面加热场强度随时间的演变也仅反应近 20 年的情况. 尽管如此, 20 世纪 90 年代地面加热场强度的增强是显著的, 其变化与高原南部有相似之处.

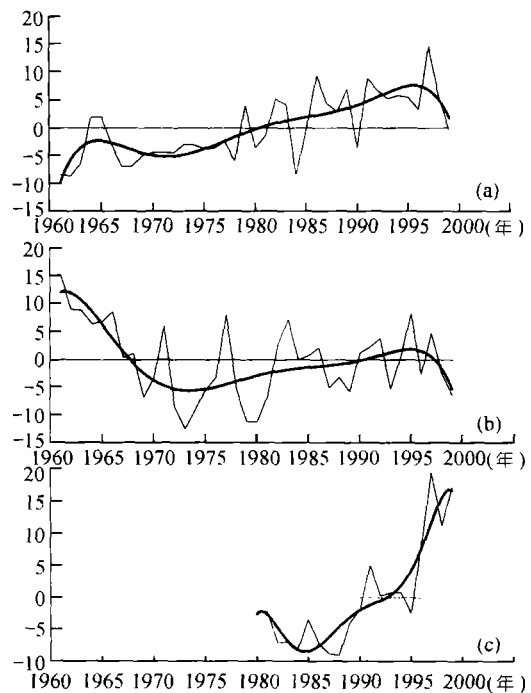


图 1 青藏高原年平均地面加热场强度( $W/m^2$ )  
(a) 拉萨; (b) 玉树; (c) 伍道梁

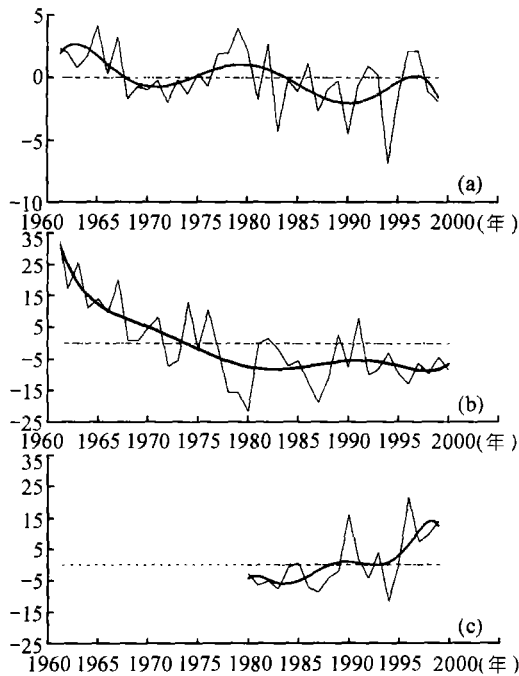


图 2 青藏高原冬季平均地面加热场强度( $W/m^2$ )  
说明同图 1

场强度存在明显的年代际变化趋势, 但不同区域、不同季节有所不同.

### 2.2 青藏高原不同区域地面加热场强度变化的一致性

从上述青藏高原地面加热场强度的年代际变化看, 不同区域、不同季节具有不同的变化趋势. 为进一步研究这种变化特点, 本文计算了青藏高原各区域代表站地面加热场强度的互相关系数(表 1). 高原南部(拉萨代表站)与高原东部(玉树代表站)在不同月份其相关程度不同, 但总体保持较好的一致性, 除 9 月为弱的负相关(-0.24)外, 其余各月均为正相关, 其中 3 月、7~8 月和 11~12 月超过 $\alpha_{0.05}$ 置信度水平. 高原中北部(代表站伍道梁)与南部和东部的相关比较弱, 均未达到 $\alpha_{0.05}$ 置信度水平. 从年际变化来看, 高原中北部与高原东部和南部呈反位相或为弱的一致. 这与季国良等人<sup>[16]</sup>最近的研究结果相一致.

图 2 是冬季青藏高原地面加热场强度的变化. 与年平均比较, 除高原中北部外, 青藏高原冬季地面加热场强度近 40 年来总体呈不断减弱趋势, 尤以高原东部最为明显. 20 世纪 70 年代中期以后仅有 1980 年为正常偏强, 其余年份均为负距平. 高原中北部地面加热场强度随时间的演变趋势不明显, 但总体 20 世纪 90 年代比 20 世纪 80 年代要强.

夏季青藏高原地面加热场强度的年际变化振幅明显比冬季和年平均要大得多, 这与地面加热场强度自身的季节变化有关, 除高原中北部外, 地面加热场强度的年际变化趋势与冬季相反. 夏季高原南部与东部 1961~1999 年地面加热场强度在年代际变化上总体以上升趋势为主, 但其年际变化呈明显的反位相, 这与该区域地面感热通量的变化相一致<sup>[15]</sup>.

由上述分析可知, 青藏高原地面加热

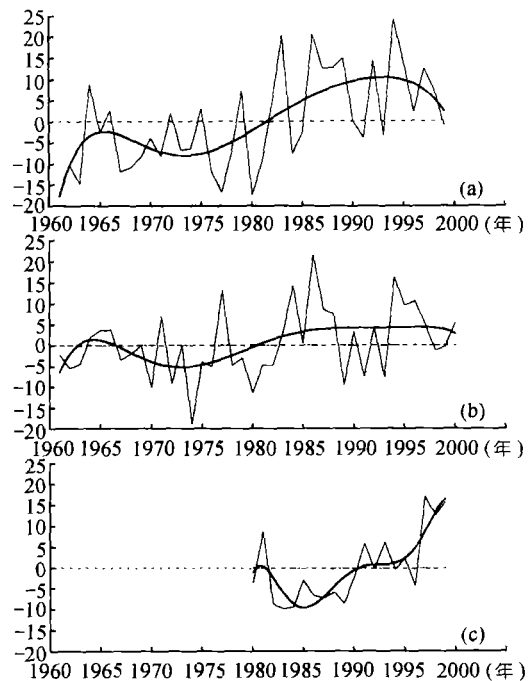


图 3 青藏高原夏季平均地面加热场强度( $W/m^2$ )  
说明同图 1

表 1 青藏高原不同区域地面加热场强度各月份的相关系数

站名 <sup>a)</sup>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
L 和 Y	0.23	0.27	0.35	0.10	0.11	0.13	0.34	0.35	-0.24	0.25	0.35	0.36
W 和 L	0.12	0.16	0.18	0.29	0.13	-0.38	-0.02	-0.07	0.24	0.34	0.24	0.31
W 和 Y	-0.41	0.25	0.04	-0.17	0.03	-0.11	0.21	-0.36	-0.27	0.14	-0.19	-0.20

a) L: 拉萨; Y: 玉树; W: 伍道梁. 当  $N-2 = 37$  时;  $\alpha_{0.05} = 0.33, \alpha_{0.01} = 0.44$ ; 当  $N-2 = 18$  时,  $\alpha_{0.05} = 0.44, \alpha_{0.01} = 0.56$ , 下同

### 2.3 青藏高原不同区域地面加热场强度的持续性

为了研究青藏高原地面加热场强度的持续性, 表 2 给出高原不同区域地面加热场强度落后 1 个月的自相关系数. 总体来说, 青藏高原地面加热场强度有比较好的持续性. 除玉树 10~11 月较差, 伍道梁 8~9 月较差外, 其余各月均有很好的持续性. 比较而言, 高原南部(拉萨)的持续性较高原东部(玉树)、中北部(伍道梁)差一些. 随着高原由干(雨)季到湿(旱)季的季节转换, 下垫面的热状况发生明显的感热由强到弱、潜热由弱到强的变化. 青藏高原南部的季风气候特点更加明显, 因此地面加热场强度的持续性也就比其他地区差.

表 2 青藏高原不同区域地面加热场强度的落后(月份)自相关系数

站名	1~2	2~3	3~4	4~5	5~6	6~7	7~8	8~9	9~10	10~11	11~12	12~1
拉萨	0.12	0.21	0.37	0.18	0.22	0.38	0.31	0.42	0.49	0.27	0.11	0.22
玉树	0.31	0.66	0.44	0.49	0.51	0.20	0.58	0.36	0.52	0.18	0.77	0.83
伍道梁	0.60	0.45	0.74	0.80	0.80	0.78	0.47	0.22	0.79	0.66	0.56	0.57

## 3 青藏高原地面加热场强度的影响研究

通过以上分析可以看出, 青藏高原地面加热场强度在变化中其南部和东部有比较好的一致性, 而中北部的资料年代短, 相关关系差. 为此, 本文在研究青藏高原地面加热场强度的影响时, 重点研究高原南部和东部的共同作用, 即求取拉萨和玉树地面加热场强度的平均序列, 用以计算青藏高原地面加热场强度与环流及中国降水、气温的相关系数.

### 3.1 对 500 hPa 的影响

由于青藏高原平均海拔在 4000 m 以上, 地面加热可直接影响到对流层中部的大气, 这是青藏高原热力作用对大气环流有重要影响的主要原因.

平均而言, 冬季北半球 500 hPa 的极涡有两个中心<sup>[17]</sup>, 其中较强的一个位于格陵兰西边的巴芬湾上空, 较弱的一个位于东部西伯利亚的北冰洋沿岸, 平均环流呈三波型. 3 个平均槽分别位于亚洲大陆东岸、北美大陆东岸和乌拉尔山以西的欧洲上空, 但后者远较前两个为弱. 3 个平均脊分别位于阿拉斯加、西欧沿岸和贝加尔湖地区的经度上, 其中两大洋东部的平均脊较强. 图 4(a)给出 1 月份青藏高原地面加热场强度与同期北半球 500 hPa 高度场的相关系数, 可以看出, 主要的相关区为东亚大陆东部沿岸的负相关、贝加尔湖西部至青藏高原西部的正相关和欧洲上空的显著负相关区. 也就是说, 当冬季青藏高原地面加热场强度异常偏强时, 可使同期北半球 500 hPa 系统加强西移, 具体表现为东亚大槽异常加深, 位置偏西, 青藏高原至新疆脊加强西移, 欧洲槽异常加深.

图 4(b)为 7 月青藏高原地面加热场强度与同期北半球 500 hPa 高度场相关系数. 青藏高原至华北为正相关, 乌拉尔山为负相关, 欧洲上空为正相关, 中国的长江流域和东北为负相关区. 即夏季青藏高原地面加热场强度出现异常偏强时, 乌拉尔山脊减弱, 欧洲槽填塞, 西太平

洋副热带高压偏南, 青藏高原脊加强, 高原通过对流活动使地面热量上传加热大气, 从而使高原及其周围 500 hPa 高度上升, 形成正相关. 同时在遥相关场中出现源于高原的两支波列, 一支指向西北, 一支指向东北, 对中国夏季天气有影响的是高原指向东北的波列. 中国长江中游和东北地区 500 hPa 高度场偏低, 多低涡活动.

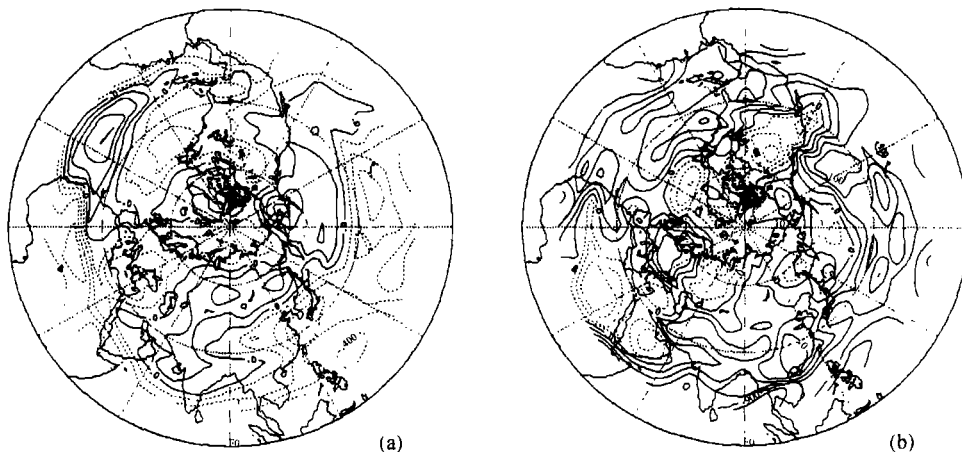


图 4 青藏高原地面加热场强度与 500 hPa 高度场的同期相关系数  
(a) 1 月; (b) 7 月

### 3.2 对 100 hPa 的影响

图 5(a) 给出 1 月高原地面加热场强度与北半球 100 hPa 高度场的相关. 可以看出, 中纬度距平呈二波型, 两个距平脊分别位于格陵兰南部和阿留申群岛, 两个距平槽在欧洲和北美, 前者比其平均状况偏西偏南, 后者与对流层中部极涡平均位置接近. 冬季青藏高原地面加热场强度的加强有利于对流层上部高纬度高度场升高, 极涡减弱; 低纬度高度场降低, 副热带高压减弱. 高空急流位置偏南.

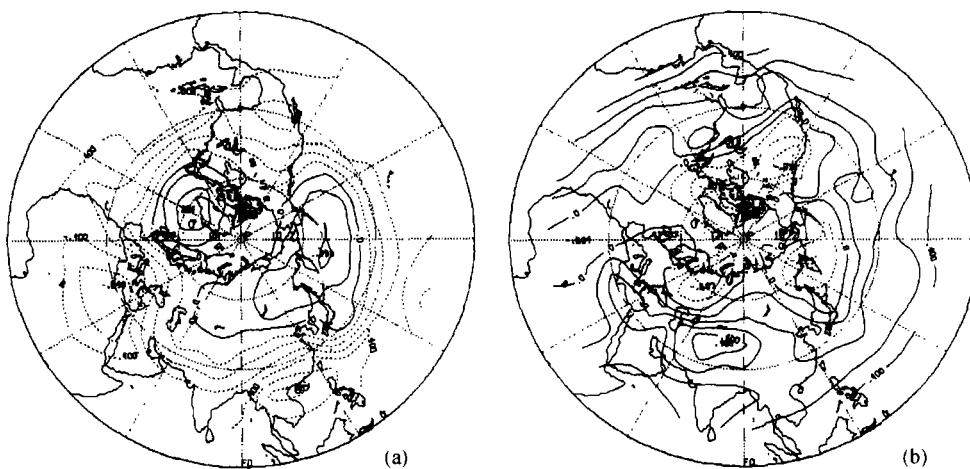


图 5 青藏高原地面加热场强度与 100 hPa 高度场的同期相关系数  
说明同图 4

夏季(7月)(图 5(b))青藏高原地面加热场强度与北半球 100 hPa 高度相关场反应的显著特点是: 当青藏高原地面加热场强度偏强时, 南亚高压异常强大, 中心在青藏高原(相关系数 +0.49), 勘察加半岛位势高度偏低, 北美低压加强. 极涡偏在格陵兰海至巴伦支海, 副热带高压加强.

### 4 对中国气候异常影响的诊断分析

通过上述讨论可知, 青藏高原热力异常可引起同期北半球大气环流的异常, 在对流层中部可引起 500 hPa 高度长波波列的异常调整; 在对流层上部的 100 hPa, 主要表现在南亚高压和极涡的异常强弱上. 为进一步研究青藏高原地面加热场强度对中国气候异常的影响, 本文计算了青藏高原地面加热场强度距平与同期中国 216 站降水、气温的相关.

#### 4.1 对冬季降水、气温的影响

冬季青藏高原南部和东部地面加热场强度均表现为较明显的下降趋势, 这种变化对中国气候异常有何影响? 从图 6 可以看出, 当冬季青藏高原 0 地面加热场强度偏强时, 全国大范围降水异常偏少, 主要少雨区分布在两湖地区(相关系数 -0.4 ~ -0.6)(图 6(a)). 但中国西南地区、青藏高原江河源头地区、西北东部、内蒙古中部和东北北部降水有可能 0 偏多(相关系数 0.2 ~ 0.3),

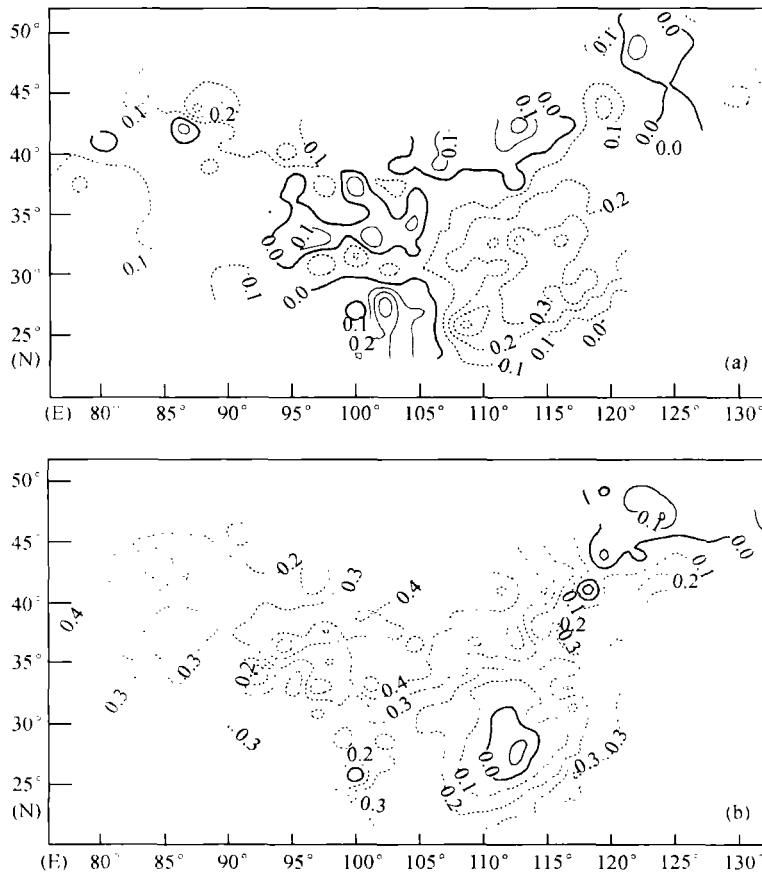


图 6 青藏高原 1 月地面加热场强度与同期中国降水(a)及气温(b)的相关系数

同期月平均气温除东北北部和两湖有可能偏高(相关系数 0.2), 中国大范围气温以偏低为主, 主要低温区域在青藏高原中北部的江河源头地区、河套、东北和华南地区(图 6(b)). 这一气候异常的直接原因就是图 4(a)所揭示的当冬季青藏高原地面加热场强度异常偏强时, 青藏高原至新疆脊加强, 东亚大槽异常加深, 位置偏西, 高空急流位置偏南, 中国西北、华北处在强劲的西北气流控制下, 冷空气活动频繁, 干旱少雨.

#### 4.2 对夏季降水、气温的影响

从图 7 可以看出, 当夏季青藏高原地面加热场强度偏强时, 同期中国长江中游地区多雨. 此外, 中国东北大部、新疆西部也有可能多雨; 青藏高原、西北、华北以干旱为主. 与其相对应, 中国长江中游、东北、新疆西部夏季月平均气温较常年偏低. 高温区有可能出现在青藏高原至河西走廊. 这种气候异常型与图 4(b)给出的遥相关场中出现源于高原并指向东北的波列相对应.

春秋两季青藏高原地面加热场强度的增强对江河源头地区气候变化的影响与冬季非常相似, 这里不再赘述.

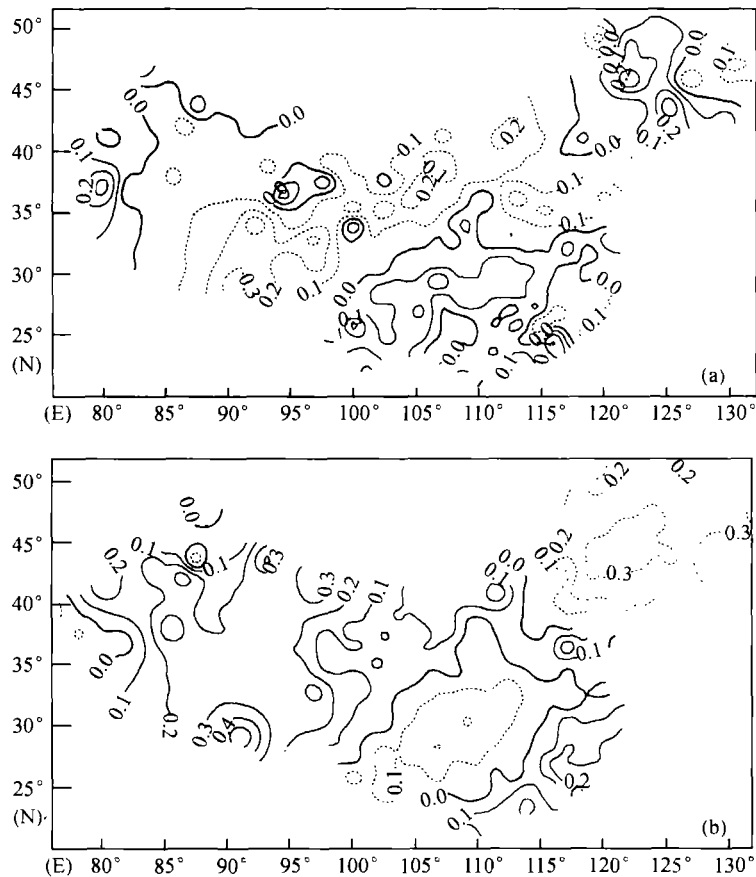


图 7 青藏高原 7 月地面加热场强度与同期中国降水(a)及气温(b)的相关系数

## 5 讨论

(i) 青藏高原地面加热场强度具有明显的年代际变化, 但不同季节表现不尽相同. 高原北部与南部和东部在年际变化上有反位相现象.

(ii) 用中国拉萨、玉树两站平均的地面加热场强度距平指数可反映青藏高原南部、东部下垫面热力异常的基本状况.

(iii) 秋、冬、春三季青藏高原地面加热场强度的异常加强, 均使江河源地区气温偏低、降水量增加, 有利于冰雪积累, 可抑制病虫害, 保护生态环境.

(iv) 青藏高原地面加热场强度对大气环流及区域气候影响与响应的数值模拟与试验将另文讨论.

(v) 对高原北部地面加热场强度与北半球大气环流及中国气候异常的关系还待进一步研究.

## 参 考 文 献

- 1 章基嘉, 朱抱真, 朱福康, 等. 青藏高原气象学进展. 北京: 科学出版社, 1988
- 2 季国良, 姚兰昌, 袁福茂, 等. 1982年冬季青藏高原地面和大气加热场特征. 中国科学, B辑, 1986, (2): 214~224
- 3 季国良, 浦明, 席蕴玉, 等. 1983年夏季青藏高原地区的地面和大气加热场. 高原气象, 1986, 5(2): 155~166
- 4 季国良, 江灏, 邹基玲, 等. 伍道梁的地面辐射收支特征. 见: 青藏高原形成演化、环境变迁与生态系统研究学术论文集(1995). 北京: 科学出版社, 1996. 211~217
- 5 陶诗言, 陈联寿, 徐祥德, 等. 第二次青藏高原大气科学试验理论研究进展(一). 北京: 气象出版社, 1999
- 6 叶笃正, 曾庆存, 郭裕福. 当代气候研究. 北京: 气象出版社, 1991. 152~160
- 7 章基嘉, 李维京, 徐祥德, 等. 1991年江淮暴雨期间环流异常的动力延伸预报试验. 气象学报, 1994, 52(2): 180~186
- 8 钱永甫, 颜宏, 骆启仁, 等. 一个有大地形影响的初始方程数值预报模式. 大气科学, 1978, 2(1): 91~102
- 9 沈如金, 纪立人, 陈于湘, 等. 夏季青藏高原热力影响的数值试验. 见: 青藏高原气象科学实验文集(三). 北京: 科学出版社, 1987. 181~190
- 10 朱福康, 赵卫. 青藏高原地面净辐射对大气环流作用的一些观测事实. 见: 青藏高原气象科学实验文集(三). 北京: 科学出版社, 1987. 54~61
- 11 徐国昌, 李栋梁, 陈丽萍. 青藏高原地面加热场强度的气候特征. 高原气象, 1990, 9(1): 30~43
- 12 李栋梁, 陈丽萍. 青藏高原地面加热场强度与东亚环流及西北初夏旱的关系. 应用气象学报, 1990, 1(4): 383~391
- 13 李栋梁, 谢金南, 王文. 中国西北夏季降水特征及其异常研究. 大气科学, 1997, 21(3): 331~340
- 14 李栋梁, 谢金南, 赵仲莲, 等. 中国西北夏季气温变化及其对青藏高原地面感热异常响应的诊断与数值试验. 气候与环境研究, 1997, 2(4): 377~386
- 15 李栋梁, 章基嘉, 吴洪宝. 夏季青藏高原下垫面感热异常的诊断研究. 高原气象, 1997, 16(4): 367~375
- 16 章基嘉, 葛玲, 孙照渤. 中长期天气预报基础(修订本). 北京: 气象出版社, 1994. 1~36
- 17 季国良, 时兴和, 高务祥. 藏北高原地面加热场的变化及其对气候的影响. 高原气象, 2001, 20(3): 239~244