

黑河实验区的自然地理状况 及气候背景^{①②}

汤懋苍 郑 光

(中国科学院兰州高原大气物理研究所, 甘肃省兰州市 730000)

提 要: 本文利用 40 多年来的气候资料, 对本区的平均流场、气压场、降水场及冬、夏的气候日变化进行了分析。指出: 本区是行星西风绕过和越过青藏高原后形成的两个湍流尾流区的开端处。本区近 40 年的气候变化可分为“暖丰(水)”和“冷枯(水)”两种时段; “暖丰”时段与多震时段、地球自转加速时段和气温与降水呈正相关时段四者是一致的; “冷枯”时段则反之。1992 年可能是最近的“暖丰”时段的结束年, 即将开始的“冷枯”段, 至少持续 10 年。对 FOP 期间(1990 年 8 月—1991 年底)各气象站的资料进行了仔细分析, 指出 FOP 期间本区大气候特征是暖干, 但各种日变化现象与多年平均情况基本一样。最后简略地叙述了 FOP 期间几次大雨和大雪的天气形势背景。

关键词: 黑河实验区; 自然地理; 气候。

1 引 言

中日合作“黑河地区地气相互作用的实验研究(HEIFE)”于 1990 年下半年到 1991 年进行了为期一年多的野外观测实验, 取得了非常丰富的边界层物理和小气候及地面辐射的观测资料。为了深入地分析这些资料, 需要对黑河实验区的自然地理和大气气候特征有更为深入、细致的了解。本文试图对张掖和临泽的基本气候特征进行较细致的分析。

2 张掖、临泽的自然地理概况

张掖、临泽自古为河西膏腴之地, 土肥水美、宜耕宜牧。张掖市(古甘州)地处河西走廊中部, 祁连山东北麓。县境南部为走廊平地, 北部为走廊北部的龙首山, 东南与西北成狭长地带, 中部稍大形成走廊平原, 北与内蒙古自治区接壤, 西连临泽县。境内水利资源丰富, 黑河、大野口河、酥油口河等河流都源于祁连山, 其中黑河最大、最长、流量最多, 地下水也丰富, 因而是绿树成荫的走廊绿洲, 农林副业发展很快, 有“金张掖”之称。临泽县位于张掖市之西, 大部分地区位于走廊中段黑河中游绿洲区, 海拔多在 1 300—2 000 m 之间。境内山地较少, 有戈壁和沙漠。戈壁分布在走廊南北

① 1993 年 7 月 3 日收到, 10 月 5 日收到修改稿。

② 本文还得到国家攀登计划 KJ85—03—03 的资助。

侧, 沙漠在西北部。中部是走廊绿洲, 水源充足, 境内黑河及其支流梨园河均源于祁连山, 地下水丰富, 农、副业生产都较发达。先秦时期 (2200 年以前) 为牧业区, 汉武帝刘彻 (公元前 140—87 年) 派霍去病在河西屯田, 张掖、临泽开始成为农业区。当时置“张掖”郡, 意为“张中国之臂掖”。在张掖郡治下置“昭武县”, 意为“昭示武帝之功”。魏 (公元 220—265 年) 改为“临泽县”, 乃“濒临水泽 (小湖泊)”之意。五代 (908—959 年) 和宋 (960—1279 年) 先后为吐番和西夏所据, 曾一度废农归牧, 元 (1271—1368 年) 后, 又归中央政府管辖至今^[1, 2]。张掖现有人口 38 万 1 千多, 面积为 3 700 km²; 临泽县现有人口 11 万 5 千, 面积为 2 700 km²。

3 实验区的平均气候特征

黑河实验区年降水量小于 200 mm, 属于干旱气候区。它南靠祁连山、北临沙漠戈壁, 是山区气候与极干旱气候之间的过渡区。冬半年行星西风同时爬越和绕过青藏高原, 当它绕过地形的最向北突出点 (祁连山主峰至嘉峪关之间) 时, 因为粘性而形成湍流尾流区, 与之相对应的反气旋环流轴线非常清楚^[3] (参见图 1a)。此线也是其北面的行星西风与南面的“尾流区”的界线, “东大山小高压”是该线上的第一个小涡旋, 它对本实验区的气候有着重要的影响。行星西风越过青藏高原后也存在此现象^[4]。对祁连山主体来说, 此线的海拔高度大致位于 2 600—2 800 m 之间^[3]。在盛行风场上, 它是一条西风与偏东风的辐合线, 位于本实验区的“黑河低压”^[4]是此线上的第一个尾流涡旋。它对本区气候具有控制作用。

图 1a 是多年 (20 年) 平均 1 月 850 hPa 高度图。它是根据海拔高度在 1 000—2 000 m 之间各测站的场面气压和平均气温用压高公式计算而得到的^[5]。图中所填为各站的地面盛行风向及频率 (为 67.5°范围内的频率和), 盛行风向稳定度^[3]小于 0.25 的测站, 将次多风向亦用虚线填于图上。由图可见, 行星西风过高原后的反气旋轴线和气旋轴线, 在本实验区已经相距很近 (约 50 km), 这两条线相交在祁连山主峰之北。从图 1 还可见马鬃山区为一高压区, 其东侧有一弱低压区 (中心在鼎新附近), 这是一个浅薄系统, 到 2 000 m 高度已不复存在。而黑河低压及以东的“石羊河低压” (中心在永昌附近) 均可达 3 000 m 的高度, 其中心随高度略向南倾斜。

从图 1a 上还可见到, 本实验区三个气象站 (张掖、临泽、高台) 的盛行风向都很不稳定, 次多风向与最多风向几乎刚好相反, 且其出现频率达到最多风向的 80% 以上。本区风向日变化明显, 夜间多吹东南风, 白天多吹西北风, 这就使得本区盛行风向的稳定度很小。关于风向日变化的原因过去解释为祁连山区存在“中型山谷风”^[6], 但现在看来反气旋轴线的位置具有日变化也是其重要原因。从 1 月 14 时的盛行风向流线图可见 (见文献 [3] 图 3), 冬季白天反气旋轴线向南移约 50—100 km, 相应的气旋轴线白天往西 (向高原中央) 移。形成这一现象的根本原因是高原大气稳定度的日变化。夜间大气稳定, 行星西风绕流成份增加, 湍流尾流区增大, 反气旋轴线移向高原以外 (向北)。白天大气稳定度变小, 绕流成分减小, 反气旋轴线移向高原 (向南)。与此同时, “爬越”成份增加, 相应的气旋轴线移向高原内部。黑河实验区刚好位于反气旋轴线日夜变化的地区, 故此风向日变化明显。“黑河低压”及其以东的“石羊河低压”都是夜间强, 范围大; 白天弱, 甚至消失。这种气压场日变化的后果之一是: 本区冬季夜雨特

“黑河低压”和“东大山高压”（尺度约 100 km）亦存在，且气压梯度似乎比冬季（图 1a）要强。该高压夜间最强，白天消失，使得张掖、临泽的盛行风向具有明显的日变化。亦反映出本区具有河谷气候的特点。

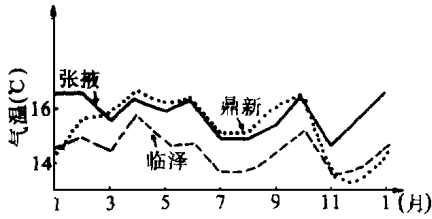


图 2 张掖、临泽、鼎新气温日较差的逐月变化曲线

Fig. 2 The month by month variation curves of temperature daily range at Zhangye, Linze and Dingxin

河谷气候的另一标志是本区气温日较差大，尤其是在冬季。图 2 给出了张掖、临泽的气温日较差年变曲线，作为对比也绘出了位于沙漠中的鼎新气象站的记录，可见冬季几个月张掖的日较差明显大于沙漠中的鼎新，甚至临泽亦略大于鼎新。张掖 1—2 月的气温日较差比其余各月均大，这是典型的河谷气候特征^[6]。而临泽的峰值仍在春季（4 月）和秋季（10 月），具有平原地区的气候特征。

河西走廊年降水分布的大趋势是由东南向西北渐减，但沿祁连山山腰一带有两个降水量突变点，一在永昌—山丹间，西大河的年迳流深度比位于其西的洪水河、大堵马河等明显偏少^[9]，就是证明；另一在嘉峪关附近，其西面呈现出极端荒漠景观。可见万里长城的起点选在嘉峪关也有其中小尺度气候背景。这两个突出点刚好都是图 1 上的相对高压区。

4 近 40 年的气候变化

图 3 为张掖 1951—1992 年的年平均温度和年降水量变化曲线。由图可见 40 年间温、湿变化均无明显的趋势，但变化的阶段性还是清楚的，如自 40 年代至 60 年代温度下降，从酒泉记录可见 1938—1942 年的温度比 1966—1970 年的要高约 2.5 °C，扣除城乡之间的温差亦要高出 1.5 °C 左右；自 60 年代后半期至 80 年代后半期是升温期，1987—1991 年是张掖近 40 年温度最高的 5 年，它比温度最低的 5 年（1966—1970 年）平均要高 1 °C。图 3 上还绘出了黑河莺落峡的逐年平均流量变化曲线。结合张掖的温度曲线，可将近 40 年的气候分为三个时段，表 1 给出了其平均特征。由表 1 可见 1951—1966 年的 16 年是暖而丰水时段，1967—1980 年的 14 年为冷而枯水时段，1981—1991 年的 11 年又回到暖丰（水）时段。我们计算了张掖的年均温（ T ）与年降水（ R ）的 10 年滑动相关系数，绘于图 4。图上还绘出了 T 和 R 的年际差值（ ΔT 和 ΔR ）的 10 年滑动相关系数曲线，可见两条曲线基本一致。从 1955—1964 年和 1982—1991 年两个时段 $T \sim R$ 及 $\Delta T \sim \Delta R$ 均为明显的正相关，而 1965—1980 年为明显的负相关时段。对照表 1 可见，暖丰时段与 $T \sim R$ 正相关时段对应，冷枯时段与 $T \sim R$ 的负相关时段对应。这表明以 10 年左右为特征长度的气候变化时段是确实存在的，且不同时段存在着不同的支配因素。为了探求它，我们将 40 年来影响张掖的 4 级以上地震列于图 3（箭头所示）。地震震级与其影响的最远距离的关系如表 2 所列，我们假定最远距离以外的地震对本区无影响。

由图 3 可见，1954—1963 年和 1980—1992 年是两个明显的多震时段，而 1964—1979 年无 4.5 级以上地震影响本区。对照图 4 可以得出： $T \sim R$ 的正相关时段与多震

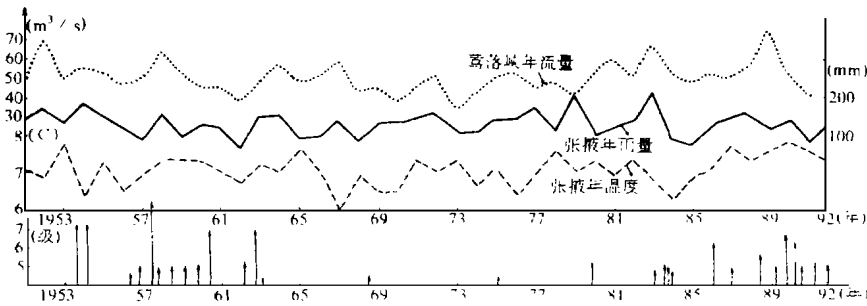


图 3 张掖年降水量（实线），气温（虚线）和莺落峡年流量（点线）及张掖地震活动（矢线）的逐年变化

Fig. 3 The year by year change of the annual precipitation (the solid line), temperature (dashed line) at Zhangye, the discharge flow (dotted line) of Yingluoxia and the earthquake activities at Zhangye (solid arrow).

表 1 黑河实验区三个气候时段的平均值

Table 1 The mean values for three climatic periods in the Heihe experimental region

起迄年代	1951—1966 年	1967—1980 年	1981—1991 年
张 掖 气 温 (°C)	7. 1	6. 8	7. 2
莺落峡流量 m ³ /s	50. 7	44. 0	55. 3

时段基本一致； $T \sim R$ 负相关时段与少震时段基本一致。事实分析表明^[10]，地震活动与地热异常释放是相联的。再与地球自转资料相对照，可发现上述多震段即为地球自转快段，而少震段即为地球自转慢段。这些事实为地气耦合（岩石圈与大气圈相互作用）提供了很好的佐证。我们将另文详细分析。

张掖绿洲全靠黑河水灌溉，黑河出山口（莺落峡）流量的丰枯关系到绿洲收成的丰欠，因而莺落峡年流量的预报成为本区的重要问题。图 5 是 40 年来莺落峡年流量与周围各站的年降水量相关系数分布图。可见黑河流量与本实验区的降水相关不高，与张掖降水的相关系数为 0.38，与高台的相关系数为 0.0，高台以下甚至变为负相关，而它与祁连山中段降水的相关系数均在 0.6 以上。这表明欲预报黑河流量，需预报祁连山内降水，而无需预报本实验区的降水。从近 70 年来的地震和地球自转资料可看到，30 年代地球自转最快，河西走廊及附近地震亦最强，40 年代自转减慢，地震亦少且很弱，黑河水量亦枯，1945—1950 年莺落峡的平均年流量为 $44.8 \text{ m}^3/\text{s}$ 。比多年平均少 8.5%，50—80 年代已如上述。根据地

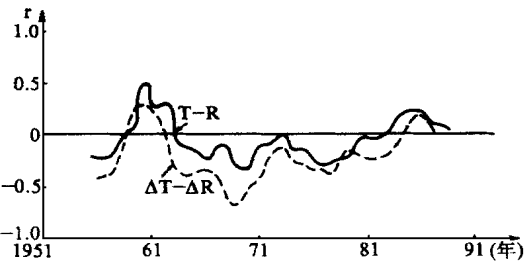


图 4 张掖年均温 (T) 与年降水 (R) 以及 ΔT 与 ΔR 的 10 年滑动相关系数

Fig. 4 The 10-year running correlation coefficient curves between the annual mean temperature (T), annual precipitation (R) and $\Delta T \sim \Delta R$ at Zhangye.

可见黑河流量与本实验区的降水相关不高，与张掖降水的相关系数为 0.38，与高台的相关系数为 0.0，高台以下甚至变为负相关，而它与祁连山中段降水的相关系数均在 0.6 以上。这表明欲预报黑河流量，需预报祁连山内降水，而无需预报本实验区的降水。从近 70 年来的地震和地球自转资料可看到，30 年代地球自转最快，河西走廊及附近地震亦最强，40 年代自转减慢，地震亦少且很弱，黑河水量亦枯，1945—1950 年莺落峡的平均年流量为 $44.8 \text{ m}^3/\text{s}$ 。比多年平均少 8.5%，50—80 年代已如上述。根据地

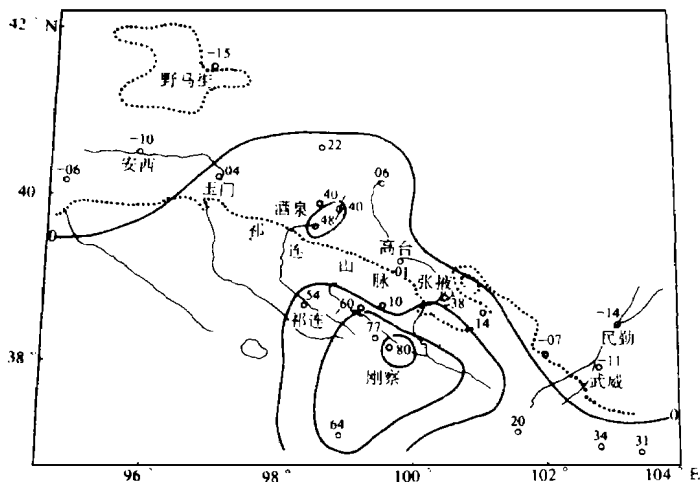


图 5 莺落峡年流量与周围各站年降水量的相关系数分布

Fig. 5 The distribution of the correlation coefficient between the annual discharge flow of Yingluoxia and the annual precipitation of its surrounding stations

表 2 地震影响的“最远距离”与震级关系

Table 2 The relationship between the grade of earthquake and the farthest distance which the earthquake had influence on

震级 M_s	4.0—4.4	4.5—4.9	5.0—5.9	6.0—6.9	7.0—7.9	≥ 8.0
最远距离 km	50	100	200	400	700	1 000

球自转、本区地震、流量、气温和降水等数十年来的变化和 1992—1993 年的演变实况，我们认为 80 年代以来的“暖丰”段，已于 1992 年结束，1993 年或 1994 年将开始一个新的“冷枯”段，其持续时间至少 10 年。

5 FOP 期间（1990—1991 年）的气候状况

黑河实验的基本观测期（FOP）是 1990 年 8 月—1991 年底。下面对这 1 年半的气候资料进行较仔细的分析。张掖和临泽两站各月气温距平变化趋势相同。图 6 上仅绘出了张掖逐月气温距平值（ T' ），可见从 1990 年 9 月—1991 年 7 月连续 11 个月气温为正距平，1991 年 1 月正距平达 2.4℃，整个冬季（11—2 月） T' 均大于 1℃。18 个月中只有 1990 年 7、8 月和 1991 年 8—10 月 5 个月 T' 为弱的负距平值，在 -0.6℃以内。这说明 1990、1991 年确是两个高温年。张掖、临泽两站各月降水距平的变化曲线（见图 6）亦基本一致，仅 1990 年 11 月和 1991 年 8 月两站距平符号相反。

夜雨所占比例，夏季（6—8 月）两站平均为 57%，与多年平均一致。冬季（12—2 月）因降水量很少，一年资料无代表性，两站在 1990 年 12 月—1991 年 2 月的 3 个月中仅降水 0.4 mm，其中 75%降在夜间（20—08 时）。

两年来无论冬夏盛行风向的日变化均为夜间东南风，白天西北风。这表明该两年冬季反气旋轴线位置的日变化和夏季的中型山谷风均与多年平均状况一致。表 3 所列为 1991 年 1，7 月两站平均的夜间（02+08 时）和白天（14+20 时）东南风（ESE—SSW）与西北风（WNW—NNE）的出现频率。可见无论冬夏夜间的东南风非常稳定，白天虽然西北风盛行，但东南风的频率也高。

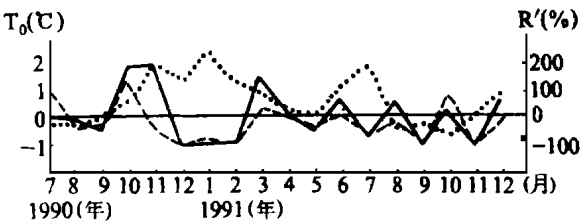


图 6 1990 年 7 月—1991 年 12 月张掖、临泽气温、降水量距百分率逐月变化曲线
实线：临泽降水，虚线：张掖降水，点线：张掖气温

Fig. 6 The anomaly percentage variation curves of month by month temperature and precipitation at Zhangye and Linze during the period of July, 1990—Dec, 1991. The solid line is precipitation at Linze, dashed line, precipitation at Zhangye, dotted line, temperature at Zhangye.

表 3 张掖、临泽两站 1991 年 1，7 月盛行风频率（%）日变化

Table 3 The daily variation of the prevailing wind frequency（%）in Jan and July, 1991 at Zhangye and Linze

时 间 \ 月份 风 向	1		7	
	SE 风	NW 风	SE 风	NW 风
夜间（02+08 时）	31	12	48	14
白天（14+20 时）	23	33	23	34

本区降水过程的发生必需有冷空气的动力作用，而降水量的多少则决定于冷锋前的暖气团中的含水量的多寡。与青藏高原热低压相伴随的高原夏季风是本区夏半年水汽的输送者^[8]，故低层偏东风维持时间长，且风速大，是本区降大雨的必要条件。农谚曰：“一日东风三日晴，三日东风一日雨”及“四季东风四季下（雨），只怕东风起不大”，此谚语所表示的正是此意。FOP 期间，日降水量>10 mm 的过程计有 1990 年 9 月 7 日，1991 年 6 月 16—17 日，1991 年 8 月 12—13 日和 1991 年 8 月 24—25 日共 4 次。它们的共同点均是：至少 3 天前高原热低压（700 hPa 上为柴达木低压）开始形成，并加深发展，河西地区 700 hPa 上偏东风加大，冷空气过境后变为偏西风，降水开始。1991 年 8 月 24—25 日是一个连阴天过程（23—27 日连阴 5 天）。高原热低压于 16 日开始形成，21 日再次加深发展。到降水过程开始时热低压已经维持了 8 天。

本区冬季降大雪的天气总与强冷空气的超极地过程相联，这时冷空气势力从北向南正对着祁连山，山前强迫抬升强烈。西来的冷空气一般不会造成本区降大雪。1990 年 11 月 7—8 日临泽降雪量达 5.7 mm，地面积雪深 3 cm，是 FOP 期间最大一次降雪。它是一次超极地寒潮爆发所致。8 日 02 时 ΔP_{24} 达 +18.7 hPa。

1991 年 10 月 2 日张掖降水 8.1 mm (临泽 5.1 mm), 是历年 10 月 24 小时降水量的最大值。此次冷空气并不强, ΔP_{24} 的最大值仅 8.7 hPa。从天气图上看, 降水范围也不大, 仅限于祁连山中段和河西走廊中段 (图略)。从张掖地温记录可看到两点异常之处: (1) 9 月 30—10 月 2 日连续 3 天的地表温度均是 08 时 (北京时, 相当于地方时 6 时 40 分) 比 02 时为高, 30 日和 1 日均高出 1.8 °C。查 FOP 期间张掖 9 月下旬—2 月下旬的地温记录, 连续 3 天 08 时高于 02 时者仅此一次。(2) 10 月 1—2 日 3.2 m 的地温比 9 月 30 日有所上升 (虽然仅上升 0.1 °C)。查地震资料可知: 10 月 1 日 00 时 33 分距张掖南偏东 130 km 的祁连山内发生了一次 5.2 级地震。这次降水过程可能与地震前后大量地热释放有关。

6 结 论

通过本文分析可得到如下结论:

(1) 本实验区冬半年处于青藏高原背风湍流区的开头处, “黑河低压”和“东大山高压”分别是气旋轴线和反气旋轴线上的第一个涡旋。这两条“轴线”位置的日变化是本区地面风向日变化的重要原因之一。

(2) 夏季本区处在高原夏季风控制之下, 低层盛行偏东风。风向的日变化主要由中、小型山谷风控制。

(3) 本区 40 年来的气候变化可分为暖丰 (水) 和冷枯 (水) 两种时段, “暖丰”时段与多地震、地球自转加速和气温与降水呈正相关时段相一致; “冷枯”时段则与少震、自转减慢和 $T \sim R$ 负相关时段一致。

(4) 从各种资料综合分析得到: “暖丰时段”大概在 1992 年已结束, 接着来临的是一个“冷枯时段”, 它至少持续 10 年。

(5) FOP 期间 (1990 年 8 月—1991 年 12 月), 本区气候属暖干。但各种气象要素的日变化, 无论冬夏均与多年平均情况一致。

参 考 文 献

[1] 余炳元、张声威, 新修张掖县志, 甘肃省图书馆, 10—12 页。

[2] 高一涵, 创修临泽县志, 兰州俊华印书馆印, 1942 年, 5—6 页。

[3] 汤懋苍、许曼春, 祁连山区的风系, 山地气候文集 北京: 气象出版社, 1984 年, 102—105 页。

[4] 汤懋苍、安 林, 高原地区月平均海平面气压图的绘制方法及初步分析结果, 高原气象, 1985 年, 第 4 卷, 第 2 期, 139—148 页。

[5] 汤懋苍, 祁连山区平均气压场的再分析, 高原气象, 1986 年, 第 5 卷, 第 2 期, 135—142 页。

[6] 汤懋苍, 祁连山区天气的日变化, 地理学报, 1963 年, 第 29 卷, 第 3 期, 197—206 页。

[7] 高原气候图集会战组, 第五章: 降水, 青藏高原气象学, 北京: 科学出版社, 1979 年, 49—61 页。

[8] 汤懋苍、沈志宝、陈有虞, 高原季风的平均气候特征, 地理学报, 1979 年, 第 34 卷, 第 1 期, 33—42 页。

[9] 汤懋苍, 祁连山区的气压系统, 气象学报, 1963 年, 第 33 卷, 第 2 期, 175—188 页。

[10] 范新岗、汤懋苍, 中蒙 6 次大地震的地球物理场结构, 地球物理学报 (待发表)。

THE NATURE GEOGRAPHY STATE AND CLIMATE BACKGROUND IN THE HEIHE EXPERIMENTAL REGION

Tang Maocang Zheng Guang

(Lanzhou Institute of Plateau Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou, Gansu 730000)

Abstract: By using the climatic data more than 40 years, an analysis of mean stream-line field, pressure pattern, precipitation field and the daily variation of climate in summer and winter over this region have been made. It pointed out: this region was the rise of the two turbulent wake zones which were formed by the planetary west wind flowed around and flowed up over the Qinghai—Xizang Plateau. The late 40—year climatic change of the region might be divided into two phases (time intervals), *i. e.* “warm—high flow year” and “cold—low flow year”, the former coincided with the phase of more earthquake, the earth rotation accelerated motion and the phase of temperature and precipitation appeared positive correlation, that is to say these four events were agreeable; the latter, on the contrary.

1992 might be the end of the late “warm—high flow year”, the “cold—low flow year” phase will begin very soon and will last ten years at least. A detail analysis of the data of each meteorological observing station has been done during the duration of FOP (Aug. 1990 to the end of 1991). It showed that the macroclimate was characterized by warm and dry climate in this region during the duration of FOP, but various daily variations phenomena were the same as secular mean conditions. At last, the weather situation background of several heavy rain and heavy snow has been described briefly during the duration of FOP.

Key words: The Heihe experimental region; The nature geography; Climate.