



地理学报 2001年第56卷第2期

大面积开荒扰动下的三江平原近45年气候变化

作者: 闫敏华 邓 伟

黑龙江省三江平原近45年来, 经过大规模的开荒, 农田已取代原来的沼泽和沼泽化湿地, 成为现今三江平原的主要景观类型, 其下垫面发生了巨大变化。采用1955~1999年三江平原地区21个气象台站的气温、降水、日照时数和气压4个要素的资料, 分析近45年来三江平原的气候变化和发展趋势; 用Yamamoto法和Mann-Kendal I 法对5年滑动平均的区域季节和年时间序列进行突变检测, 定量地论述了三江平原地区的气候变化事实。对于各气候要素出现在20世纪60年代、70年代和80年代的突变事实, 尤其是20世纪70年代以来的阶梯式的持续变暖事实, 认为三江平原区域气候系统内部的变化可能是引起这些突变的直接原因。

大面积开荒扰动下的三江平原近45年气候变化 闫敏华, 邓 伟, 马学慧(中国科学院长春地理研究所, 长春 130021) 摘要: 黑龙江省三江平原近45年来, 经过大规模的开荒, 农田已取代原来的沼泽和沼泽化湿地, 成为现今三江平原的主要景观类型, 其下垫面发生了巨大变化。采用1955~1999年三江平原地区21个气象台站的气温、降水、日照时数和气压4个要素的资料, 分析近45年来三江平原的气候变化和发展趋势; 用Yamamoto法和Mann-Kendal I 法对5年滑动平均的区域季节和年时间序列进行突变检测, 定量地论述了三江平原地区的气候变化事实。对于各气候要素出现在20世纪60年代、70年代和80年代的突变事实, 尤其是20世纪70年代以来的阶梯式的持续变暖事实, 认为三江平原区域气候系统内部的变化可能是引起这些突变的直接原因。关键词: 气候变化; 气候突变; 下垫面; 三江平原中图分类号: P467 文献标识码: A 随着WCRP的推进, 与人类生活及生产活动紧密联系的区域气候变化成为当今人们最关心的问题之一。湿地作为地球三大生态系统类型之一, 其特殊的水热效应和温室气体代谢过程决定湿地是全球变化的影响和响应区。三江平原位于黑龙江省东北部, 地理位置在129° 11' ~135° 05' N, 43° 49' ~48° 27' E。近45年来, 大规模的农业开发使三江平原下垫面性质发生了巨大变化。三江平原的耕地面积从1949年的78.6万hm²增加到1994年的452.24万hm²; 而占三江平原地区平原部分面积81%的534.5万hm²的沼泽和沼泽化湿地, 到1994年仅剩下104.06万hm² [1]。农田已取代湿地而成为现在三江平原的主要景观类型。此外, 城市扩展、路建设和工业发展也使三江平原的森林和湿地大面积消失。三江平原是人类大规模改变土地利用方式的典型地区, 研究该区域人类活动严重扰动阶段的气候变化具有重要的意义。本文采用1955~1999年三江平原地区21个气象台站的气温、降水、日照时数和气压4个要素的资料, 分析了近45年来这些气候要素的变化和发展趋势, 用不同方法确证各气候要素的突变性, 定量描述三江平原地区气候变化的事实。1 资料处理和分析方法 三江平原地区21个台站(穆棱、鸡西、密山、勃利、虎林、桦南、依兰、汤原、宝清、双鸭山、集贤、饶河、佳木斯、桦川、富锦、建三江、鹤岗、前进、萝北、同江、抚远)自建站起到1999年的月平均气温、月降水量、月日照时数和月平均气压资料来自国家气象局出版的气候资料和黑龙江省气象档案馆。鉴于各站建站年代不同, 本文用回归订正法将短的气候要素时间序列插补延长, 使所有气候要素的时间序列长度统一在1955~1999年时段内。图1 三江平原1955~1999年年平均气温线性倾向值分布(单位:0.01℃/a) Fig.1 Distribution of liner tendency values of annual mean temperature in the Sanjiang Plain from 1955 to 1999 (unit:0.01℃/a) 根据三江平原雨热同季, 6~9月降水量占年降水量71.5%(其中6~8月降水量为年降水量的58.5%), 以及人类活动主要在6~9月进行的特点, 本文设定三江平原的春季是3~5月, 夏季是6~9月, 秋季是10~11月, 冬季是12~2月。春季气温、气压和日照时数是3个月的平均值, 春季降水量是3个月的降水总量, 以此类推, 得到夏季、秋季、冬季和年的气温、气压、日照时数和降水量。为了减少单站记录的片面性, 取整个地区的空间平均序列作为区域序列。为了进行气候突变分析再对区域化的各要素的季节和年序列作5年滑动平均, 以突出较长期的变化趋势, 序列两端的5年滑动平均值是通过添加2个序列的平均值得到的, 经过以上数据处理, 就得到了5年滑动平均的、各季节和年的、区域化的各气候要素序列。三江平原气候变化总趋势分析采用倾向率法, 各要素的倾向率用一元线性回归方程拟合求得; 气候变化的阶段性分析采用距平曲线法; 气候突变分析用Yamamoto法和Mann-Kendal I 非参数检验法。2 三江平原的气候变化 近20年来, 中国的气候学家以不同的时间尺度对中国区域的气候变化特征和规律进了大量的研究。张先恭等 [2]、屠其璞 [3]、丁一汇等 [4] 研究了中国区域气温气候变化特征; 林学椿等 [5]、陈隆勋等 [6] 和高素华等 [7] 研究了中国气候变化规律和趋势。他们的研究成果为正确了解大尺度气候变化特征规律和充分认识区域气候变化的特征性提供了良好的基础和指导。2.1 气温变化 用1955~1999年的年平均气温线性倾向值分布图(图1), 来分析三江平原地区的气温变化趋势。整个三江平原地区都是气温升高区。最大的增暖中心分布在北部平原区, 另一个较小的增暖中心分布在南部山区, 它们的最大倾向值分别为0.05℃/a 和0.048℃/a。三江平原地区两侧山区的倾向值均小于0.035℃/a, 全区最小倾向值出

现在三江平原最西部的依兰一带, 其值为 $0.026^{\circ}\text{C}/\text{a}$ 。三江平原地区45年来变暖 $1.2\sim 2.3^{\circ}\text{C}$ 。全区平均倾向值为 $0.039^{\circ}\text{C}/\text{a}$, 远远超过东北区域($0.02^{\circ}\text{C}/\text{a}$)和黑龙江省北部($0.03^{\circ}\text{C}/\text{a}$) [8] 的增暖趋势。图2 三江平原1955~1999年气候变化 Fig.2 Climate changes of the Sanjiang Plain from 1955 to 1999 图2a为三江平原1955~1999年的年平均和季平均气温距平曲线, 距平是对1955~1999年45年气候值的偏差。从图2a中可以看出, 对年平均气温而言, 自1955年开始在经历了1956、1960和1965年3个波谷年后, 在1969年达到45年中的最低点, 然后呈波动增温趋势, 其中1975、1982、1990、1995和1998年为5个波峰年, 最大正距平值出现在1990年。值得注意的是, 从1988年开始, 三江平原的年平均气温的距平值都为正值, 即三江平原的增温状况在近12年中一直处在较稳定状态。三江平原地区最高和最低年平均气温出现年份和东北区域的情况相同, 但三江平原地区1969~1990年的最大正、负距平较差值高达 $+3.8^{\circ}\text{C}$, 比同期东北区域的较差值大 $+0.7^{\circ}\text{C}$ [8]。这表明, 三江平原地区是东北区域增温幅度最大的地区之一。一些研究成果指出 [4, 8], 自20世纪70年代起, 东北地区是中国的主要变暖区之一。因此, 三江平原地区是中国的最主要的变暖地区之一。对于各季节平均气温的变化(图2a), 变化振幅最大的是冬季, 其次是秋季和春季, 夏季变化最小。在1969年以前的冷期中, 冬季对年平均气温的负距平贡献最大; 在20世纪80年代末期的增暖过程中, 冬季和秋季对正距平的贡献最大。

2.2 降水变化三江平原1955~1999年的年降水量线性倾向分布显示(图3), 三江平原绝大部分地区的年降水在45年中都呈减少的趋势, 降水减少中心位于三江平原的平原地区。降水减少中心的倾向值为 $-2.0\text{mm}/\text{a}$ 以上, 最大值为 $-2.5\text{mm}/\text{a}$ 。在三江平原地区, 只有东西两侧的边缘地区降水是增加的, 而且增加中心的强度仅为 $+1.0\text{mm}/\text{a}$ 。与东北其他地区的资料比较 [8], 三江平原地区是降水减少相对最多的地区。三江平原年降水量的线性趋势表明, 自1955年开始, 三江平原地区有变旱的趋势, 但程度并不严重。图3 三江平原1955~1999年年降水量线性倾向值分布(单位: mm/a) Fig.3 Distribution of liner tendency values of annual precipitation in the Sanjiang Plain from 1955 to 1999 (unit: mm/a) 三江平原在1955~1999年期间年降水量的变化可以大致分为3个阶段(图2b), 即1955~1965年和1980~1999年的降水增加阶段, 以及1966~1979年的降水减少阶段。在降水增加阶段, 1960、1981和1994年为降水峰值年, 其正距平分别为 $+167.6$ 、 $+197.7$ 和 $+196.5\text{mm}$; 在降水减少阶段, 1975年为降水量最小年, 其距平值为 -167.9mm 。在2个降水增加阶段中, 第二个阶段的降水增加趋势更加明显。1975年到1994年降水最大距平较差为 365.8mm 。三江平原的少雨期比东北区域的少雨期(1961~1984年)的持续时间短 [8], 更早地转入多雨阶段, 且降雨振幅也比东北区域的平均值大。从图中还可以明显看出, 年降水量具有3、13和21年的准周期变化。在各季节降水的变化中(图2b), 夏季降水变化最大, 且其变化趋势和年降水量相似, 冬季和秋季次之, 春季变化不大。

2.3 日照时数的变化 三江平原地区1955~1999年的年平均和季平均日照时数距平曲线显示(图2c), 45年中, 年平均日照时数的变化可以分为2个阶段: 1955~1979年为增大阶段; 1980~1999年为减小阶段, 其中1980~1990年期间, 年平均日照时数的减少幅度小, 从1990年开始, 其减少趋势非常明显。在年平均日照时数增大阶段, 1975年的年平均日照时数最大, 其值为 223.5h ; 在其减小阶段, 1983年的年平均日照时数最小, 其值为 185.9h , 两者的较差值为 37.6h , 即两者的年日照时数相差 451.2h 。在各季平均日照时数的变化中, 夏季平均日照时数变化幅度最大, 春、秋季平均日照时数次之, 冬季平均日照时数对年平均日照时数距平的贡献最小。

2.4 气压的变化 三江平原地区年平均气压的变化大致可以分为4个阶段(图2d), 即1955~1960年的小幅上升阶段, 1961~1963年的低压阶段, 1964~1988年上升后的平稳波动阶段, 和1989年开始的较大幅度的上升阶段。1955~1999年期间, 年平均气压的最大正距平出现在1964年, 最大负距平出现在1987年, 两者的差值为 3.2hPa 。季平均气压的变化为, 冬季平均气压对距平的贡献最大, 春季和秋季次之。夏季平均气压对第2阶段的负距平和第4阶段的正距平贡献较大, 即夏季平均气压更易出现极端情况。

3 三江平原的气候突变 气候系统是一个高度非线性的物理系统, 具有难以用线性物理解释的一些变化特征, 如突变现象。20世纪60年代中期, 以法国数学家R. Thom的工作为先导, 逐步形成了现在称为突变理论(Catastrophe Theory)的一些数学内容 [9], 经过20多年的发展, 突变理论已成为描述基本非线性现象的自然科学语言, 它的概念和方法已被许多学科接受和应用。气候突变(Climate jump, Abrupt climatic change, Jump transition)的概念在20世纪80年代提出, Yamamoto等人 [10, 11] 针对几十年期间的时间平均值的突变现象, 提出气候突变(Climate jump)的概念, 并用统计检验方法确定出气候跃变的存在; 严中伟等 [12~14] 详细研究了20世纪60年代北半球夏季气候跃变的分布和过程; 符淙斌等 [15] 探讨了气候突变定义及其各种检测方法, 对认识和检测突变现象提供了方法上的指导; 李月洪等 [16] 对百年来上海和北京的气候突变作了检测和初步分析。本文检测和确认4个气候要素各季节和年的气候突变, 是为了了解它们在45年中各自的变化特征、时空分布和相互关系, 进一步全面认识年气候变化中平衡掉的一些季节变化, 充分利用突变理论这个有力工具, 来准确地把握气候系统的非线性本质。

3.1 Yamamoto法和Mann Kendall法概述 Yamamoto法: 这种方法是用来检验两随机样本平均值的显著差异。设定一个基准年, 设置基准年的信噪比 S/N 为: $S/N = \frac{x_1 + x_2}{s_1 + s_2} \quad (3-1)$ 式中 x_1 和 x_2 、 s_1 和 s_2 以及 n_1 和 n_2 分别代表一连续的随机变量 x 基准年以前时段和基准年以后时段的2个子样本集 x_1 和 x_2 的平均值、方差和时段长度, n_1 和 n_2 根据需要可人为地设定。 $S/N > 1.0$ 确定为突变, $S/N > 2.0$ 确定为强突变。该方法把突变出现的时间定在数年宽度的范围。在可用资料的全部时段内, 连续设置基准年, 从而得到 S/N 的时间序列。当 $n_1 = n_2 = 10$ 时, $S/N > 1.0$, 则达到95%以上的信度水平; 当 $n_1 = n_2 = 14$ 时, $S/N > 1.0$, 则达到99.95%以上的信度水平。本文取 $n_1 = n_2 = 10$ 和 $n_1 = n_2 = 14$ 进行检测。

Mann-Kendall法: 原假设 H_0 : 气候序列平稳且随机独立, 其概率分布相同。设此气候序列为 x_1, x_2, \dots, x_n , m_i 表示序列中第 i 个样本 x_i 大于 x_j ($1 \leq j \leq i$) 的累计数。定义一个统计量: $d_k = \sum_{i=1}^k m_i \quad (2 \leq k \leq N) \quad (3-2)$ 在原序列平稳且随机独立的假定下, d_k 的均值、方差分别为: $E[d_k] = k(k-1)/4$ $VAR[d_k] = k(k-1)(2k+5)/72 \quad (2 \leq k \leq N) \quad (3-3)$ 将 d_k 标准化 $u(d_k) = (d_k - E[d_k]) / (VAR[d_k])^{1/2} \quad (3-4)$ 式中 $u(d_k)$ 为标准分布, 其概率 $\alpha = \text{prob}(u > (d_k))$ 可以通过计算或查表获得。给一定显著性水平 α_0 , 当 $\alpha_1 > \alpha_0$ 时, 接受原假设 H_0 , 它表示此序列将存在一个强的增长或减少趋势。设 $u(d_1) = 0$, 那么所有 $u(d_k)$ ($1 \leq k \leq N$) 将构成一个序列 C_1 , 通过信度检验可知其是否有变化趋势。若设 m_i 表示反序列中第 i 个样本 x_j 大于 x_i ($i \leq j \leq N$) 的累计数, 当 $i' = N+1-i$ 时, 如果 $m_i = m_{i'}$, 则反序列的 $u(d_k)$ 由下式给出: $u(d_{i'}) = -u(d_i) \quad i' = N+1-i$

($i, i' = 1, 2, \dots, (3-5)$ 所有 $(1 \leq i \leq n)$ 将构成另一个序列 C 2。当序列 C 1 和 C 2 存在明显的变化趋势时, 即超过信度线。如果 C 1 和 C 2 曲线相交于信度线之间, 则交点便是突变点的开始。

3.2 结果分析

用 1955~1999 年三江平原气温、降水量、日照时数和气压的季节和年的 5 年滑动平均时间序列来检测气候突变。用 Yamamoto 法时, 取平均时段 $n_1 = n_2 = 10$ 和 $n_1 = n_2 = 14$, 仅能从 1965~1989 年这 25 年中寻找气候突变。用 Yamamoto 法定出的各次突变列于表 1。本文在图表中用 $n=10$ 和 $n=14$ 代表这 2 个平均时段。在气候突变的例图中 (图 4), 用箭头标出所确定的突变处, 平均时段的均值 (实线) 和均方差 (断线) 迭加在各要素的季节和年距平时间序列上一并绘出。从表 1 中可以看出, 4 个气候要素均在夏季和冬季出现了突变; 气温和日照时数在全年都有突变出现, 且夏季、秋季、冬季和年平均气温出现了强突变。严中伟等 [12, 13] 的研究结果指出, 北半球夏季气候状况在 20 世纪 60 年代期间普遍出现跃变。三江平原地区降水量、日照时数和气压都在 20 世纪 60 年代夏季出现了突变, 其 S/N 值分别为 1.53、1.35 和 1.41, 降水减少幅度为区域平均夏季降水量的 17% 以上, 气压变化幅度为 +0.8hPa, 日照时数的增加幅度为区域季节平均值的 6% 以上。另外, 秋季日照时数和冬季降水量也在同期发生了突变。但是, 三江平原地区的夏季气温在这一时期却没有出现突变。在 20 世纪 70 年代出现突变的要素场有春季、夏季和年气温、夏季和冬季气压以及冬季降水。除了夏季气温、冬季降水量和冬季气压外, 其它在不同季节或全年出现突变的气候要素都在 20 世纪 80 年代的不同年份出现了突变。表 1 用 Yamamoto 法测定出的三江平原 1965~1989 年间气候突变

Tab. 1 Climate jumps measured by Yamamoto method in Sanjiang Plain during 1965~1989

时间要素	n 值	气温	降水	气压	日照时数
春季时段	1972~1974	1972~1975	1987~1989	1986~1989	1982~1985
最大 S/N,	1.09,	1.16,	1.18,	1.92,	1.02,
1989 年份	1.92,	1.02,	1.95	变幅	+0.6°C
夏季时段	1971~1977	1970~1979	1965~1968	1980~1983	1966~1969
1972~1974	1965~1968	1979~1989	1981~1986	1983~1986	1982~1985
1978~1982	1987~1989	最大 S/N,	2.44,	1974	1.65,
1975	1.53,	1965	1.1,	1981	1.35,
1967	1.0,	1973	1.41,	1965	1.59,
1981 年份	1.16,	1984	1.24,	1986	1.21,
1984	1.47,	1981	1.33,	1989	变幅
+0.6°C	+0.5°C	-17.7mm	+15.8mm	+0.8hPa	+0.7hPa
+43.2h	-72.8h	+17.3mm	+0.4hPa	+0.4hPa	-65.6h
-47.6h	秋季时段	1983~1989	1982~1985	1965~1966	最大 S/N,
3.32,	1987	1.41,	1985	1.54,	1965
年份	变幅	+1.4°C	+1.1°C	-37.2h	冬季时段
1979~1980	1977~1985	1965~1966	1975~1979	1976~1977	1978~1982
1976~1989	1983~1989	1975~1979	1987~1989	最大 S/N,	1.13,
1979	1.53,	1985	1.19,	1965	1.67,
1977	1.03,	1976	1.42,	1980	1.21,
1981 年份	2.87,	1987	1.68,	1977	1.59,
1989	变幅	+1.0°C	+1.7°C	-8.0mm	+4.1mm
-0.8hPa	-14.1h	-19.5h	+1.8°C	+3.8mm	-18.9h
年时段	1971~1976	1972~1973	1965~1966	1979~1982	1980~1981
1982~1989	1979~1985	1988~1989	最大 S/N,	1.9,	1973
1.1,	1972	1.3,	1965	1.2,	1981
1.0,	1981 年份	3.8,	1987	1.6,	1985
1.4,	1985	变幅	+0.5°C	+0.5°C	-69.1mm
-86.4h	-111.0h	+0.9°C	+0.9°C	-106.8h	值得注意的是, 三江平原地区各季节和年气温的突变都是增温突变 (表 1)。如春季气温经过 20 世纪 70 年代初和 80 年代末 2 次突变后, 气温平均上升 +1.5°C, 而冬季气温经过 2 次突变后则上升 +2.8°C。图 4 中气候要素的突变处其均方差是显著分离的, 这说明突变前后气候状况实际存在着不连续。4 个气候要素的夏季和冬季时间序列的 S/N 值曲线图 (图 5) 显示, 气温突变的 S/N 值的位相都落后于其它要素突变 S/N 值的位相, 且其 S/N 值也较大, 即气温出现突变的时段和变化幅度明显不同于其它要素。在所取 2 个平均时段都能进行检测的 1969~1985 年期间, 2 个平均时段确定出的气候突变是相吻合的, 但因时间序列长度的限制, 取 $n=14$ 时, 无法确定出 1969 年以前或 1985 年以后的气候突变。图 4 Yamamoto 法确定的三江平原 4 个气候要素气候突变的例子 (实线为均值, 虚线为均方差) Fig. 4 Examples of climate jumps tested by Yamamoto method of 4 climatic factors 图 5 4 个气候要素夏季和冬季时间序列的 S/N 值 Fig. 5 S/N values of summer and winter time series of 4 climatic factors 用 Mann-Kendall 法检测 4 个气候要素区域季节时间序列的结果列于表 2。表 2 中所确定的气候突变年份, 是 Mann-Kendall 法计算图 (图 6) 中 C 1 和 C 2 曲线相交点所对应的年份。对比发现, 2 种方法确定的气候突变有一部分是相当吻合的, 尤其是出现在 20 世纪 80 年代的几次突变。但用 Mann-Kendall 法检测到的出现在 20 世纪 50 年代和 90 年代的突变, 因资料限制用 Yamamoto 法是无法检测到的, 因此也就无法比较。Mann-Kendall 法没有检测到发生在 20 世纪 60 年代的气候突变, 这不仅说明检测方法不同, 结果存在一定差异, 而且正如文献 [15] 所指出的, 每种检测方法都有不足之处。总的说来, Mann-Kendall 法只检测到 Yamamoto 法所确定出的突变的 70%。图 6 给出 Mann-Kendall 法确定气候突变的几个例子。当信度达到 95% 以上时, 信度线 $y = \pm 1.96$ 。图 6 显示, 用 2 种方法检测出的春季日照时数和秋季气温的突变是相同的, 而对冬季气温的突变来说, Mann-Kendall 法只检测到了 20 世纪 80 年代末出现的一次突变, 而未检测到发生在 20 世纪 70 年代末和 80 年代初的突变。表 2 用 Mann-Kendall 法测定的三江平原出现气候突变的年份 Fig. 2 The years of climate jump measured by Mann-Kendall method in Sanjiang Plain 气温 降水量 气压 日照时数 春季 1980 1962, 1988 夏季 1979 1956, 1988 1994 1995 秋季 1988 冬季 1986 1958, 1986 1980 年 1984 1961 1991 图 6 Mann-Kendall 法确定三江平原气候突变 Fig. 6 Examples of climate jump by Mann-Kendall method in Sanjiang Plain <h4>4 小结和讨论</h4> <p>近 45 年来, 三江平原年平均气温的变化总趋势是上升趋势, 年平均气温 45 年上升 1.2~2.3°C, 且其最主要的变暖中心位于平原部分。45 年中, 三江平原的年平均气温在 70 年代和 80 年代出现了 2 次增温突变, 并且 80 年代的突变是强突变, 2 次突变的变幅分别为 +0.5°C 和 +0.9°C。不同季节的气温变化对年平均气温变化的贡献是不同的。20 世纪 70 年代初至 80 年代末的年平均气温不断升高, 是由于春季和夏季平均气温 70 年代初都以 +0.6°C 的突变为起点和 70 年代末冬季平均气温以 +1.0°C 的突变进一步加强而形成的; 而 80 年代末至今的年平均气温升高是在前期增温的基础上, 又以 80 年代末春季平均气温 +0.9°C 的突变和秋季及冬季 +1.4°C 和 +1.8°C 的强突变为起点的再次持续增温。可以说, 三江平原地区的变暖, 四季变暖都为此作出贡献, 但比较之下, 冬季变暖的作用更明显。三江平原地区年降水量 45 年来有减少的趋势, 其最大减少幅度为 45 年减少 90mm。年降水量减少中心位于三江平原东北部的平原部分和中部山区。年降水量在 60 年代出现了降水减少突变, 变幅为 -69.1mm。在降水量季节变化中, 夏季和冬季降水量在 45 年中分别出现了 2 次突变, 出现在 60 年代的突变是降水减少突变, 变幅分别为 -17.7 和 -8.0mm; 出现在 70 年代末或 80 年代初的突变是降水增加突变, 变幅分别为 +17.3 和 +3.8mm。很显然, 降水量减少突变比降水量增加突变的幅度略大。45 年中, 三江平原地区夏季有</p>

50年代中期至60年代中期和80年代中期的2个多雨期, 和一个从60年代中期到80年代初期的少雨期。三江平原地区沼泽化和沼泽化湿地开垦一般只有在早年沼泽湿地干涸之际才能进行, 因此, 三江平原地区持续10多年的少雨阶段, 为1969~1973年和1975~1983年的开荒高潮提供了有利的气候条件。45年来, 三江平原地区年平均日照时数的变化趋势呈减少趋势; 年平均气压的变化很小。就三江平原的平原部分而言, 4个气候要素的年序列的45年线性倾向配置关系没有表现出一致的分布规律, 这主要是各要素季节变化不同步所致。如发生在60年代中期的夏季降水、夏季日照时数和夏季气压有很好的突变配置关系, 即夏季降水突变减少, 夏季日照时数和气压则突变增加; 而接下来发生在80年代的突变, 则只有夏季日照时数突变增加和降水突变减少配置较好。这说明, 夏季日照时数和云量分布有显著关系。冬季平均气温和日照时数突变的配置是完全反位相的, 即气温阶梯式的增加突变对应于日照时数阶梯式的减少突变。是否可以这样解释这种配置关系, 三江平原地区地处高纬地区, 冬季人类活动如燃煤取暖将使大气中的气溶胶含量增高, 以致使到达地面太阳总辐射和直接辐射减少, 同时气溶胶的冷却效应和温室效应使气温升高。引发三江平原地区气候突变产生的原因, 除直接影响气候的主要外部因子太阳常数、平流层火山灰的含量和大气中不断增加的二氧化碳外, 更主要的是三江平原地区下垫面的变化, 即大面积湿地的开垦。湿地下垫面的热量平衡特征不同于农田, 在湿地植物生长旺季, 潜热通量占下垫面辐射平衡的70%左右, 而感热通量只占辐射平衡的20%左右 [17], 即下垫面用于加热大气的热量很少, 但湿地被开垦成农田后, 其下垫面热量平衡特征发生变化, 感热通量占辐射平衡的比例增大, 因此气温升高, 且区域水分循环也随之发生变化。三江平原地区夏季在60年代北半球普遍增温的情况下, 没有发生增温突变, 这也许是当时三江平原“冷湿”的下垫面起到了均化气候变化的作用。但从70年中期开始, 春季、夏季和年平均气温都发生了增温突变, 这与三江平原开垦面积的增加同步。因为此时三江平原刚刚经历过大规模开荒, 耕地面积已达 $204.8 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 几乎达到沼泽湿地面积的一半, 人口也增加到400多万; 80年代初三江平原的耕地面积达到 $352.1 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 人口达到689.4万; 到80年代末, 三江平原的耕地面积已近 $400 \times 10^4 \text{ hm}^2$; 而80年代末的三江平原春、秋和冬季以及年平均气温都出现了强增温突变, 突变幅度在黑龙江省北部是最大的。因此, 我们认为三江平原的湿地大面积开垦可能直接导致增温突变。致谢: 参加资料收集和整理工作的还有袁美英、崔宝山、张艳红和白军红等。本文还得到余国营研究员的指导, 特此致谢。参考文献 (References):

- [1] Liu Xingtu. Wetland and its rational utilization and conservation in the Sanjiang Plain [A]. In: Chen Yiyu ed. Study of Wetlands in China [C]. Changchun: Jilin Sciences and Technology Press, 1995. 108-117. (In Chinese) [刘兴土. 三江平原湿地及其合理利用与保护 [A]. 见: 陈宜瑜主编. 中国湿地研究 [C]. 长春: 吉林科学技术出版社, 1995. 108-117.]
- [2] Zhang Xiangong, Li Xiaoquan. Some characteristics of temperature variation in China in the present century [J]. Acta Meteorologica Sinica, 1982, 40 (2): 198-208. (In Chinese) [张先恭, 李清泉. 本世纪我国气温变化的某些特征 [J]. 气象学报, 1982, 40 (2): 198-208.]
- [3] Tu Qipu. Trend and periodicity of temperature change in China during the past hundred years [J]. Journal of Nanjing Institute of Meteorology, 1984 (2): 151-162. (In Chinese) [屠其璞. 近百年来我国气温变化的趋势和周期 [J]. 南京气象学院学报, 1984 (2): 151-161.]
- [4] Ding Yihui, Dai Xiaosu. Temperature variation in China during the last 100 years [J]. Meteorological Monthly, 1994, 20 (12): 19-26. (In Chinese) [丁一汇, 戴晓苏. 中国近百年来温度变化 [J]. 气象, 1994, 20 (12): 19-26.]
- [5] Lin Xuechun, Yu Shuqiu. Climatic trend in China for the last 40 years [J]. Meteorological Monthly, 1990, 16 (10): 16-21. (In Chinese) [林学椿, 于淑秋. 近40年我国气候趋势 [J]. 气象, 1990, 16 (10): 16-21.]
- [6] Chen Longxun. A primary analysis of climate change in China in recent 40 years [J]. Quarterly Journal of Applied Meteorology, 1991, 49 (2): 164-173. (In Chinese) [陈隆勋. 近四十年我国气候变化的初步分析 [J]. 应用气象学报, 1991, 49 (2): 164-173.]
- [7] Gao Suhua, Pan Yaru, Guo Jianping. The temperature change and its influence on agricultural production in China for the last 40 years [J]. Meteorological Monthly, 1994, 20 (5): 36-41. (In Chinese) [高素华, 潘亚茹, 郭建平. 我国近40年温度的变化及其对农业生产的影响 [J]. 气象, 1994, 20 (5): 36-41.]
- [8] Cheng Longxun, Zhu Wenqin, Wang Wen. Studies on climate change in China in recent 45 years [J]. Acta Meteorologica Sinica, 1998, 56 (3): 257-271. (In Chinese) [陈隆勋, 朱文琴, 王文. 中国近45年来气候变化的研究 [J]. 气象学报, 1998, 56 (3): 257-271.]
- [9] Ling Fuhua. Catastrophe theory—History, current situation and future [J]. Advances in Mechanics, 1984, 14 (4): 389-404. (In Chinese) [凌复华. 突变理论—历史、现状和展望 [J]. 力学进展, 1984, 14 (4): 389-404.]
- [10] Yamamoto R, Iwashima T, Sanga N K. Climatic jump, a hypothesis in climate diagnosis [J]. J. Met. Soc. Japan, 1985 (63): 1157-1160.
- [11] Yamamoto R, Iwashima T, Sanga N K. An analysis of climatic jump [J]. J. Met. Soc. Japan, 1986 (64): 273-281.
- [12] Yan Zhongwei, Ji Jinjun, Ye Duzheng. The climatic jump of the Northern Hemisphere in summer during the 1960s—I. Precipitation and temperature change [J]. Chinese Science (B), 1990 (1): 97-103. (In Chinese) [严中伟, 季劲钧, 叶笃正. 60年代北半球夏季气候跃变—I. 降水和温度变化 [J]. 中国科学 (B辑), 1990 (1): 97-103.]
- [13] Yan Zhongwei, Ji Jinjun, Ye Duzheng. The climatic jump of the Northern Hemisphere in summer during the 1960s—II. Sea level pressure and 500hPa height change [J]. Chinese Science (B), 1990 (8): 879-885. (In Chinese) [严中伟, 季劲钧, 叶笃正. 60年代北半球夏季气候跃变—II. 海平面气压和500hPa高度变化 [J]. 中国科学 (B辑), 1990 (8): 879-885.]
- [14] Yan Zhongwei. A primary analysis of the process of the 1960s northern hemispheric summer climatic jump [J]. Scientia Atmospherica Sinica, 1992, 16 (1): 111-119. (In Chinese) [严中伟. 60年代北半球夏季气候跃变过程的初步分析. 大气科学, 1992, 16 (1): 111-119.]
- [15] Fu Congbin, Wang Qiang. The definition and detection of the abrupt climatic change [J]. Scientia Atmospherica Sinica, 1992, 16 (4): 482-493. (In Chinese) [符淙斌, 王强. 气候突变的定义和检测方法 [J]. 大气科学, 1992, 16 (4): 482-493.]
- [16] Li Yuehong, Zhang Zhenqiu. A preliminary analysis on abrupt climatic changes in Shanghai and B

eijing for the last100years [J]. Meteorological Monthly, 1991, 17 (10) :15-19. (In Chinese) [李月洪, 张正秋. 百年来上海、北京气候突变的初步分析 [J]. 气象, 1991, 17 (10) :15-19.] [17] Yan Minhua. The impact of forest fire on microclimate of forest swamp in the Daxingan Mountains [J]. Scientia Geographica Sinica, 1993, 13 (4) :389-390. (In Chinese) [闫敏华. 大兴安岭森林火灾对林区沼泽小气候的影响 [J]. 地理科学, 1993, 13 (4) :389-390.] Climate Variation in the Sanjiang Plain Disturbed by Large Scale Reclamation during the Last45Years YAN Min-hua, DENG Wei, MA Xue-hui (Changchun Institute of Geography, CAS, Changchun 130021, China) Abstract: Farmland instead of marsh wetland has become the main landscape in the San-jiang Plain after large-scale reclamation since1949. The underlying surface of the Sanjiang Plain has been changed tremendously. Based on the data of monthly mean air temperature, atmospheric pressure, monthly precipitation and sunshine time from 21 meteorological stations in the Sanjiang Plain from 1955 to 1999, the climatic variations and tendencies of the Sanjiang Plain have been analyzed during the last 45 years. The climate jumps have been examined in terms of 5-year moving averaged seasonal and annual series of 4 factors using Yamamoto method and Mann-Kendall method. The annual mean temperature was tending to go up and increased +1.2°C to +2.3°C in the Sanjiang Plain during the last 45 years. The warmest center was located in the plain field of the Sanjiang Plain. The departure values of annual mean temperature have been positive since 1988. The linear tendency values of annual precipitation in most part of the Sanjiang Plain were negative during the last 45 years. The decrease center in annual precipitation was located in the plain part of the Sanjiang Plain. The largest decrease amplitude of annual precipitation was 90 mm during the last 45 years. The variation of annual precipitation in the Sanjiang Plain during the last 45 years had gone through two increase periods that occurred from 1955 to 1965 and from 1980 to 1999. Between them there was a decrease period from 1966 to 1979. Climate jumps tested by both Yamamoto method and Mann-Kendall method in the Sanjiang Plain during the last 45 years are as follows. According to the annual mean temperature, an abrupt warming occurred in the mid 1980s, the amplitude of abrupt variation was +0.9°C. The seasonal abrupt warming in spring, autumn and winter all took place in the 1980s, and abrupt warming in summer occurred in the late 1970s. Of variation amplitude of all the seasonal abrupt warming, the largest one was +1.8°C in winter since 1987. The abrupt change of summer precipitation occurred in the 1980s. The abrupt changes of spring and winter sunshine time took place in the late 1980s and the early 1980s respectively. Based on the facts of climate changes of the Sanjiang Plain, it is held that the abrupt warming of the Sanjiang Plain during the last 45 years probably resulted from the large-scale reclamation of various kinds of wetlands. Key words: climatic variation; climate jump; underlying surface; the Sanjiang Plain =====. 44. =====

关键词: 气候变化; 气候突变; 下垫面; 三江平原