

东北地区典型农区土地利用变化对农业扩张和气候变化的响应研究

张雪¹, 吴班^{2*}

(1. 环境保护部卫星环境应用中心, 北京 100094; 2. 环境保护部信息中心, 北京 100029)

摘要 大规模的农业扩张和全球气候变化导致东北地区发生剧烈的土地利用/土地覆盖变化。本研究分析了研究区1976—2008年的土地利用变化和生长季各月气温的变化趋势,并结合农业扩张程度,探究LUCC对农业扩张和气候变化的响应,为指导农业发展规划和保障国家粮食安全提供理论依据。结果表明,1976—2008年农田面积逐步增加,生长季气温一直呈上升趋势。1976—2001年生长季气温的上升趋势不稳定,气温变化程度较大;2001—2008年,农业扩张放缓,生长季气温上升趋势显著,且上升趋势一直增加,气温变化比上一时期更稳定;且这两个时期农业扩张和气候变化对土地利用强度的影响在南北和东西方向上均存在明显差异。

关键词 LUCC; 农业扩张; 气候变化; NDVI

中图分类号: X2; F301.24

文章编号: 1674-6252(2017)05-0057-07

文献标识码: A

DOI: 10.16868/j.cnki.1674-6252.2017.05.057

Response of the Land Use Change to Agricultural Expansion and Climate Change in Typical Agricultural Areas of Northeast China

ZHANG Xue¹, WU Ban^{2*}

(1. Satellite Environment Center, MEP, Beijing 100094; 2. Environmental Information Center, MEP, Beijing 100029)

Abstract: Large-scale agricultural expansion and global climate change lead to drastic Land Use and Land Cover Change in northeast China. This paper analyzed the land use change and monthly temperature change trend of growing season in research area from 1976 to 2008. Combined with agricultural expansion degree, the paper explored the response of LUCC to the agricultural expansion and climate change, and provided a theoretical basis for guiding agricultural development planning and national food security. The results showed that the farmland area gradually increased, and the temperature of growing season has been on the rise from 1976 to 2008. The rising trend of growing season temperature was not stable, and the temperature fluctuated greatly from 1976 to 2001. The agricultural expansion was slowed down, and the rising trend of growing season temperature has been increased from 2001 to 2008, and the temperature change was more stable than the previous period. The impact on land use intensity of agricultural expansion and climate change was obviously different in north-south and east-west direction in the two periods.

Keywords: LUCC; agricultural expansion; climate change; NDVI

引言

随着全球气候变暖和异常气候事件的频繁发生,气候变化对土地利用的影响,尤其是对农田的影响,日益受到政府和社会各界的普遍关注。在东北地区,中华人民共和国成立以来经历了大规模的农业扩张,包括农田开垦和农田改造,导致剧烈的土地利用/土地覆盖变化(land use and land cover change, LUCC)。遥感来源的

归一化植被指数(normalized difference vegetation index, NDVI)是监测全球或地区植被和生态环境的有效指标,是植被生长状况及植被覆盖度的最佳指示因子^[1-3],故NDVI的变化能够表征LUCC。对NDVI植被指数变化与气温、降水、湿度、风速、日照的相关关系进行分析,结果表明,气温是影响植被生长的主要因素^[4,5]。使用重心模型,结合矢量合成法则,研究LUCC对气候变化和人为活动的响应,得出不同方向上气候和人类活动的影

作者简介: 张雪(1980—),女,高级工程师,主要从事卫星遥感及系统软件设计与开发研究。

* 责任作者: 吴班(1979—),男,高级工程师,主要从事环境信息技术研究, E-mail: wu.ban@mep.gov.cn。

响程度^[6,7]。

近年来,东北地区的平均每年增温达0.02℃以上,45年内气温上升0.8~1.2℃^[8],甚至东北的半干旱地区也有变干的趋势^[12]。东北地区作为重要的商品粮生产基地,农业生态系统对自然条件尤其是气候条件的依赖程度很强,气候变化会对农业生产造成很大的影响。研究东北地区LUCC对农业扩张和气候变化的响应,不仅在区域土地利用/土地覆盖变化和气候变化领域具有代表性,对更大尺度的全球变化研究提供典型案例,而且对农业发展规划的制定有指导意义。

1 数据与方法

1.1 研究区域概况

为系统探究东北农区土地利用变化对农业扩张和气候变化的响应特征,本研究选取三江平原挠力河流域典型农区(北纬45°57′~47°4′,东经131°52′~133°39′)开展案例研究。研究区夏季炎热湿润,冬季寒冷干燥,年均气温约1.6℃,降水量约565mm。该区域地势平坦,以农田和林地为主要土地利用类型,是我国重要的粮食生产基地。

1.2 土地利用和NDVI数据

本研究选用1976年、2001年和2008年的土地利用和NDVI数据,其中1976年的数据为TM解译所得,2001年和2008年的数据来自于MODIS遥感影像。图像分辨率为500m。土地利用和植被生长图像均采用GCS_WGS_1984地理坐标系统,投影统一采用UTM_ZONE_N53。这三期的土地利用数据均按照东北地区土地覆盖分类系统一级类型进行合并,分为林地、草地、农田、水体/湿地、聚落和荒漠6种土地利用类型。

1.3 土地利用程度分级技术

根据土地利用程度的综合分析方法^[10],本研究将土地利用程度按照土地自然综合体在社会因素影响下的自然平衡状态分为若干级,并赋予分级指数,从而给出了土地利用程度综合指数及土地利用程度变化模型的量化表达式。根据研究区的土地利用数据,本研究将全区分分为未利用土地级,土地自身再生利用级、土地人为再生利用级林、土地非再生利用级四大类型,分别赋以1、2、3、4作为土地利用程度高低的权重。根据式(1)所示的土地利用程度综合指数模型,得到1km×1km像元上的土地利用程度指数。计算方法如下:

$$La = 100 \times \sum_{i=1}^n (A_i \times C_i) \quad (1)$$

式中,La为土地利用程度综合指数;i为土地利用程度分级,取值1~4;A_i为第i级土地利用程度分级指数;C_i为第i级土地利用程度分级面积百分比。运用该指数

模型可使离散的土地利用分类类型变为连续的土地利用程度指数,便于分析人类活动对土地利用影响的大小。

1.4 Mann-Kendall 检验分析方法

对于 $x_1, x_2, \dots, x_n$ 的时间序列变量X,n为时间序列的长度,需要根据变量X构建一个包含X中所有对偶值($x_i, x_j, i > j$)的时间序列:

$$S_k = \sum_{i=1}^k r_i \quad (k=2, 3, 4, \dots, n) \quad (2)$$

式中,当 $x_i > x_j$ 时, $r_i = 1$;当 $x_i \leq x_j$ 时, $r_i = 0$ ($j=1, 2, \dots, i$)。

在时间序列随机独立的假定下,定义统计量:

$$UF_k = \frac{[S_k - E(S_k)]}{\sqrt{\text{Var}(S_k)}} \quad (k=1, 2, 3, \dots, n) \quad (3)$$

式中, $UF_1=0$, $\text{Var}(S_k)$ 、 $E(S_k)$ 是累计量 k_s 的均值和方差。在 $x_1, x_2, \dots, x_n$ 相互独立,且有相同连续分布时,可由下式算出:

$$E(S_k) = \frac{n(n+1)}{4} \quad (4)$$

$$\text{Var}(S_k) = \frac{n(n-1)(2n-5)}{72} \quad (5)$$

对于随机的序列 $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$,随着n的增加($n > 10$), UF_k 将很快收敛于标准正态分布。当原假设为序列不存在某变化趋势时,一般采用双边趋势检验,在给定显著性水平 α 下,当 $|UF_k| < \alpha$,则接受原假设,即趋势不显著;当 $|UF_k| > \alpha$,则拒绝原假设,表明序列存在明显的趋势变化。

1.5 气温变化的相对变率分析方法

气象要素的相对变率反映了气象要素的稳定程度。相对变率越小,说明该要素越稳定;反之亦然。利用常用相对变率来比较不同地区或同一地区不同时段气候要素的变化特征和稳定程度。

绝对变率($\bar{d}$)是序列中各距平绝对值的平均值,反映了该要素变动的平均情况。计算公式如下:

$$d_i = x_i - \bar{x} \quad (6)$$

$$\bar{d} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |d_i| \quad (7)$$

式中, x_i 为气象要素的观测值; $\bar{x}$ 为气象要素的多年平均值; $d_1, d_2, \dots, d_i, \dots, d_n$ 为相应的距平序列。当 $d_i > 0$ 时,为正距平,当 $d_i < 0$ 时,为负距平。

绝对变率($\bar{d}$)与多年平均值($\bar{x}$)的百分比称为相对变率(D),其数学表达式为:

$$D = \frac{\bar{d}}{\bar{x}} \times 100\% \quad (8)$$

1.6 LUCC 的成因分析方法

为了进一步分析气候和农业扩张对农区 LUCC 的作用程度, 本研究将 NDVI 与土地利用程度指数相结合, 利用重心模型分别计算两个时期的土地利用重心变化, 从而得到在气候变化和农业扩张影响下研究区 LUCC 的空间偏移及趋势。

重心的运动方向、速度和强度是表征某一物质在空间上变化的最好指标^[9], 通过分析研究区域土地利用程度重心的变化, 可以得到研究时期内土地利用空间格局的变化规律, 以进一步探求区域土地利用变化的驱动因素。土地利用程度重心的计算公式为:

$$X_t = \frac{\sum_{i=1}^n (C_{it} \times X_i)}{\sum_{i=1}^n C_{it}} \quad (9)$$

$$Y_t = \frac{\sum_{i=1}^n (C_{it} \times Y_i)}{\sum_{i=1}^n C_{it}} \quad (10)$$

式中, X_t 、 Y_t 分别表示第 t 年某种土地利用类型分布重心的坐标; C_{it} 表示第 i 个小区域 NDVI 值或土地利用程度综合指数; X_i 、 Y_i 分别表示第 i 个小区的几何中心的坐标。

2 分析与讨论

2.1 土地利用类型变化

从图 1 可以看出, 1976—2001 年, 研究区域土地利用最显著的变化是农田面积的增加和水体、湿地面积的减少。农田面积由 29.85% 增加到 77.31%, 面积增加了 4746.92 km², 增幅最大。水体、湿地面积由 25.71% 减少到 0.17%, 面积减少了 2520.16 km², 2001 年面积仅有 16.54 km²。林地面积由 33.27% 减少到 21.71%, 面积减少了 1122.84 km²。草地面积由 10.32% 减少至 0.53%, 面积减少了 965.5 km², 2001 年草地面积仅有 52.71 km²。1976—2001 年的土地利用转移矩阵分析表明, 水体、湿地、林地、草地减少的面积, 基本都转化为农田。可见, 在 1976—2001 年, 研究区域绝大多数的水体、湿地和草地以及大约 1/3 的林地基本都被开发为农田, 农田成为最主要的土地利用类型。

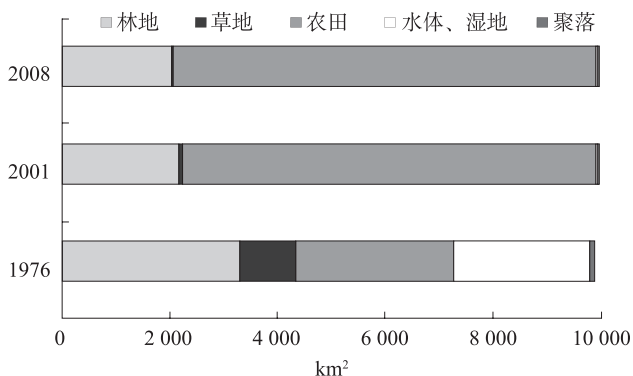


图1 1976—2008年各类土地利用面积变化柱状图

2001—2008 年, 研究区域土地利用比较明显的变化是农田面积的增加和林地面积的减少。农田面积增加了 155.22 km², 林地面积减少了 142.83 km²。可见, 在 2001—2008 年, 农区农田面积有所增加, 但是由于前一阶段农业扩张程度已近饱和, 这一时期的农业扩张放缓。

2.2 土地利用程度变化

如图 2 所示, 1976 年的土地利用程度指数在 100~200 的区域占 61.02%, 主要为北部的湿地和东部的林地; 土地利用程度指数在 200~300 的农田占 36.62%, 主要分布在南部地区; 土地利用程度指数大于 300 的聚落散布在农田地区, 仅占 2.36%。与 1976 年相比, 2001 年的土地利用程度加大。81.59% 的区域土地利用程度指数在 200~300, 其中大部分地区为农田; 土地利用程度指数在 100 至 200 的区域占 17.83%, 主要为东部的林地; 土地利用程度指数在 300~400 的区域仅占 0.54%。2001—2008 年的土地利用程度指数变化不显著, 土地利用程度指数在 200~300 的区域面积增加了 1.26%, 100~200 的区域面积减少了 1.30%。

随着农业开发活动, 农区的土地利用程度指数发生变化。将三期土地利用程度指数两两相减, 得到农区 1976—2001 年和 2001—2008 年的土地利用程度空间格局的变化 (图 3)。从图中可以看出, 1976—2001 年的土地利用程度指数变化显著, 大约 60% 的区域土地利用程度指数增加在 50~100, 主要分布在北部的湿地和东部的农林交错地带, 其余地区的土地利用程度指数基本未发生变化; 2001—2008 年的土地利用程度变化小于上一时期, 绝大多数区域土地的利用程度未发生变化, 土地利用程度指数变化在 0~100, 主要分布在农林交错带, 主要由于林地开发为农田导致土地利用程度变大。

2.3 气温变化趋势分析线性拟合分析结果

农区生长季气温的长期变化对农业产生深远的影响, 气温长期变化过程中呈现出上升或下降的趋势, 不同阶段的变化趋势不同, 变化程度有差异。图 4 表示了研究区生长季 5~9 月平均气温在过去 50 年中的波动曲线和一次线性拟合。

研究区 5~9 月平均气温的一次线性拟合结果如表 1 所示。

表 1 5~9 月份平均气温的一次线性拟合结果

月份	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月
斜率	0.03689	0.04863	0.01709	0.02207	0.03387
R^2	0.15455	0.18632	0.06766	0.09658	0.24867

2.4 Mann-Kendall 检验结果

采用 Mann-Kendall 非参数检验统计方法分析研究

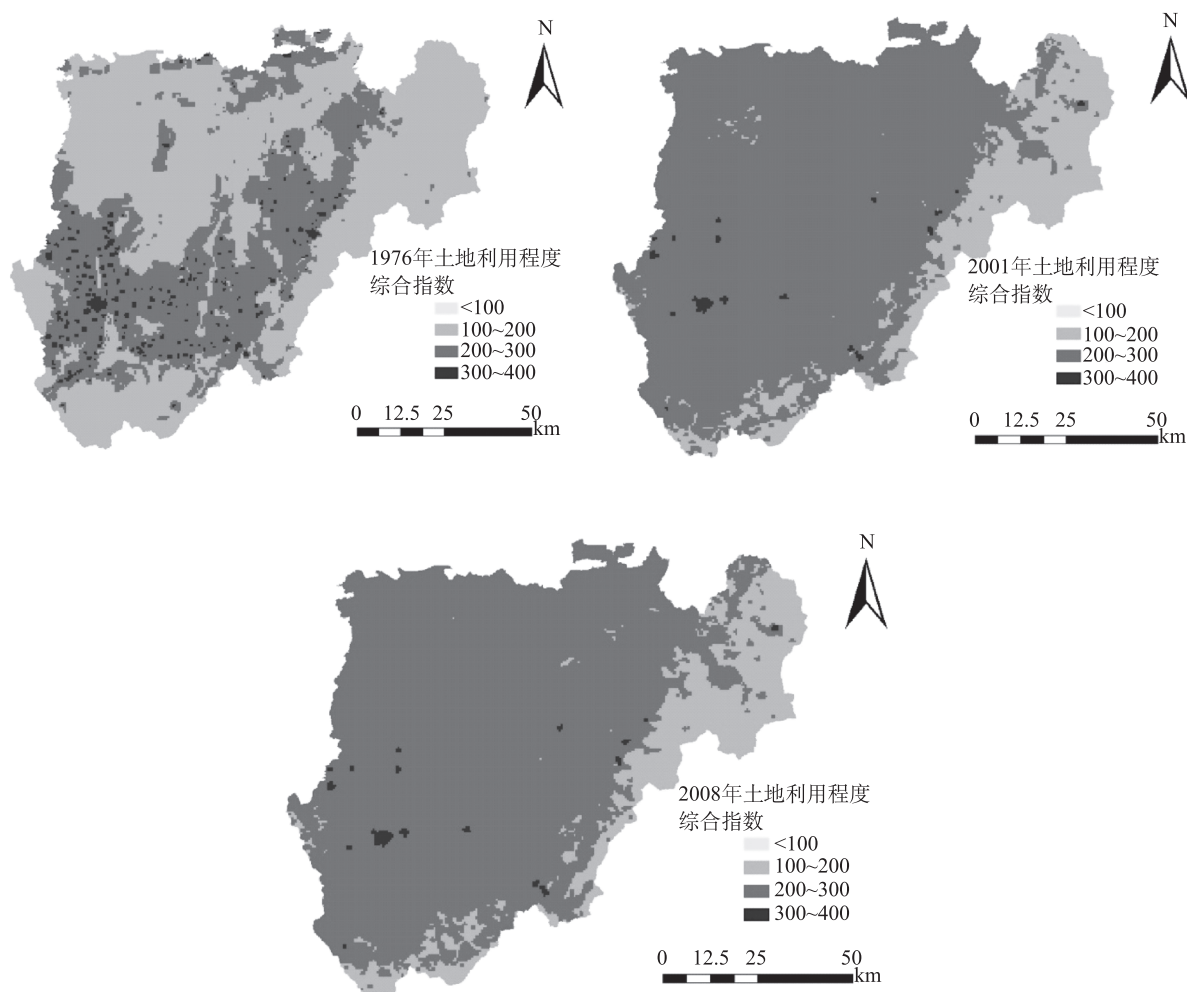


图2 1976年、2001年和2008年的土地利用程度空间分布

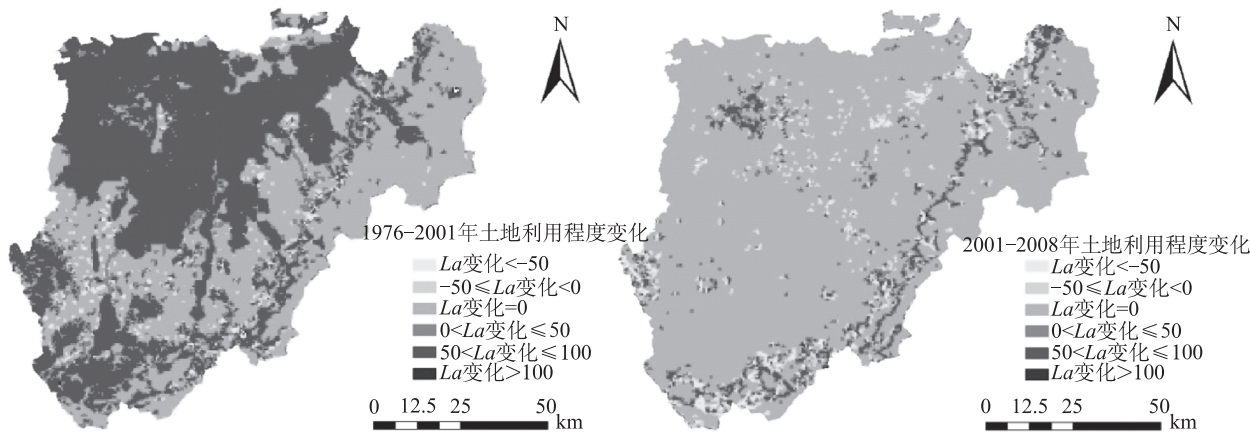


图3 1976—2001年和2001—2008年农区土地利用程度指数变化图

区气温时间序列的变化趋势与突变，结果如图5所示。Mann-Kendall 检验的置信水平 $\alpha=0.05$ ，得到 $U_{a2}=1.96$ 。

从图5可以看出，研究区域各月平均气温在过去50年里，在整体上具有上升趋势和局部的波动变化，此外还在个别年份表现出突变特征，即突变点前后平均气

温发生陡增或陡减。Mann-Kendall 检验统计图中， UF_k 和 UB_k 的交点即为突变点。根据农区5月份的 Mann-Kendall 突变检验结果，1990年以前 UF_k 和 UB_k 曲线波动较大，表现为有多个交点，气温突变规律比较复杂，比较有意义的5月气温突变点在1990年，气温由波动上

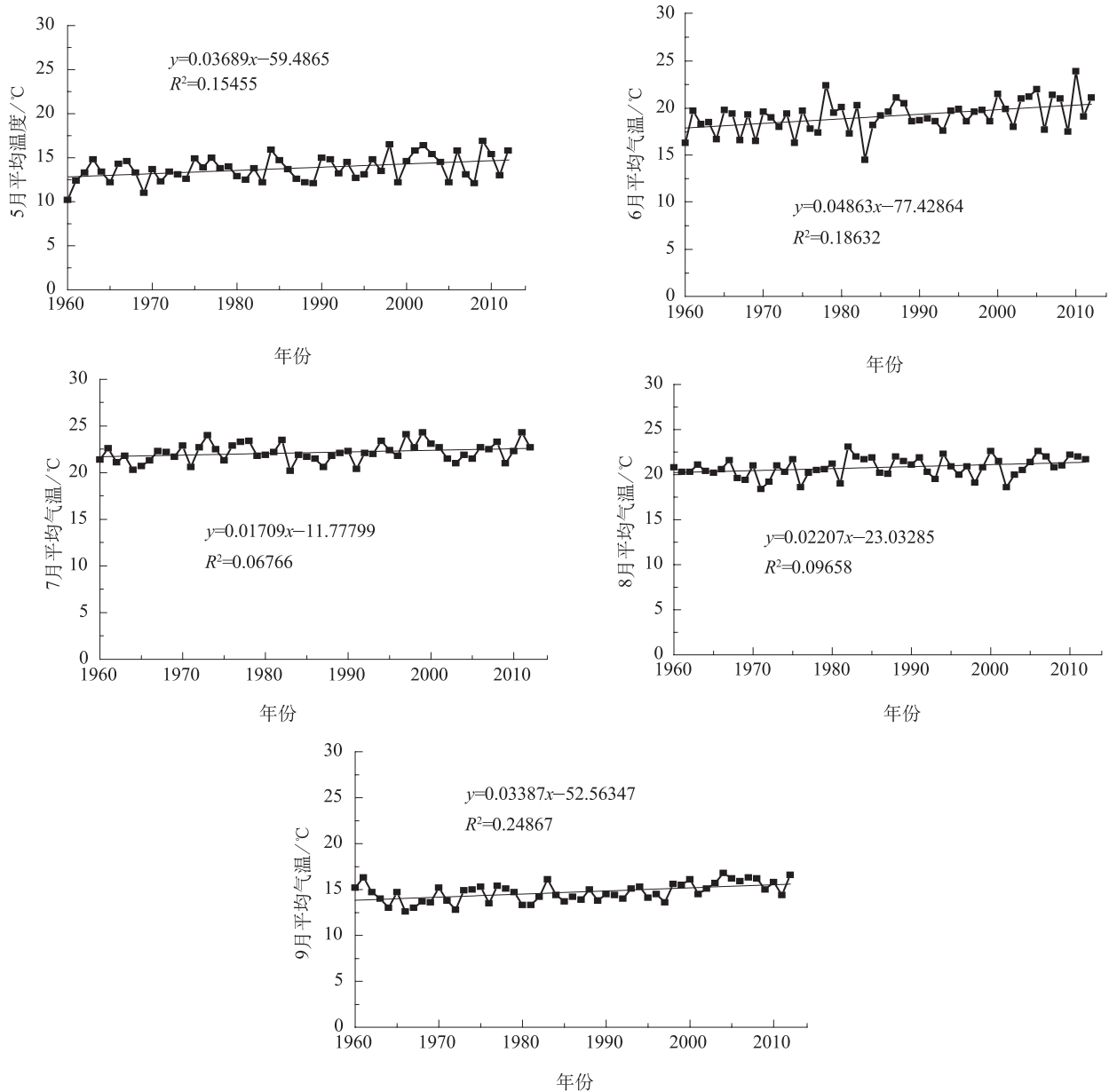


图4 1960—2012年生长季各月平均气温变化

升趋势变为上升趋势明显增强。6月份的 Mann-Kendall 突变检验结果表明,气候突变点首先在 1988 年,气温由前一时期波动上升的趋势,变为上升趋势不断下降;其次是在 1993 年,气温上升趋势由不断下降,变为明显上升。7月份的 Mann-Kendall 突变检验结果表明,1969 年是气温由下降变为上升的突变点,1983 年气温上升趋势由整体上的增加,转变为不断下降、1988 年是气温上升趋势由下降进入不断增加的状态。8月份的 Mann-Kendall 突变检验结果表明,1980 年气温由下降趋势改变为上升趋势,表现为波动的上升状态;2004 年气温上升趋势由波动上升进入不断上升。9月份的 Mann-Kendall 突变检验结果表明,1998 年是仅有的气温突变点,气温由上升趋势增强。

气温在 5~9 月的气候突变基本发生在 20 世纪 80~90 年代,这一时期增温趋势波动变化较大,主要是由于农业扩张加剧,土地利用发生了很大的变化。

2.5 气温变化的相对变率

研究区域 2001—2008 年的 5 月、6 月、8 月气温的相对变率比 1976—2001 年大,气温变化的稳定性更低;2001—2008 年的 7 月、9 月气温的相对变率比 1976—2001 年小,气温变化的稳定性更高。综合两个时期各月气温的相对变率,5 月气温的相对变率最高,其次是 6 月的气温,7 月的相对变率最低(表 2)。由两个时期的气温相对变率可知,2001—2008 年的生长季气温比 1976—2001 年的更加稳定,气温变化程度更小。

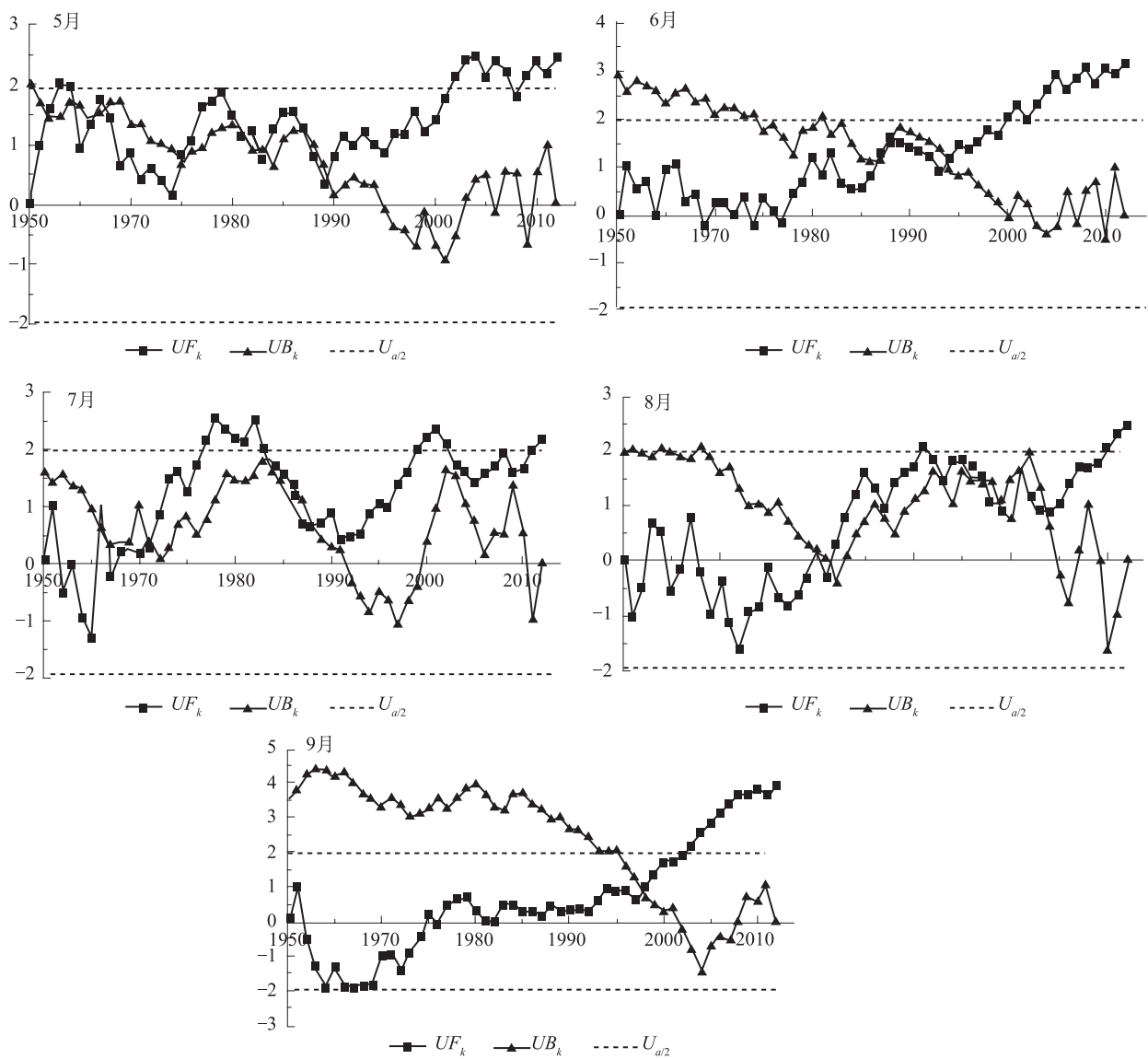


图5 1960—2012年5~9月平均气温Mann-Kendall统计量曲线

表2 不同时期生长季气温变化的相对变率

	1976—2001		2001—2008	
	平均气温/℃	相对变率/%	平均气温/℃	相对变率/%
5月	13.77	7.16	14.41	10.13
6月	19.12	6.13	20.28	6.44
7月	22.30	3.64	22.14	2.99
8月	20.88	4.47	20.93	4.54
9月	14.53	4.72	15.84	3.49
生长期	18.12	2.54	18.72	1.32

2.6 LUCC 的成因分析

基于 UTM 投影，利用式 (9) 和 (10) 计算得出，1976 年基于 NDVI 的土地利用程度重心为 $O(335.7 \text{ km}, 5150.45 \text{ km})$ ，2001 年的土地利用程度的重心为 $P_1(322.76 \text{ km}, 5159.1 \text{ km})$ ，2008 年的土地利用程度的重心为 $Q_1(322.5 \text{ km}, 5158.83 \text{ km})$ 。以 1976 年的重心为

基准，1976—2001 年的土地利用重心由北偏西 56 度移动了 15.56 km，2001—2008 年的土地利用重心由南偏西 44 度移动了 0.37 km。

假设土地利用程度的变化不受气候影响，仅由农业扩张造成，2001 年记为 $P_2(318.29 \text{ km}, 5158.55 \text{ km})$ ，2008 年记为 $Q_2(319.07 \text{ km}, 5159.02 \text{ km})$ 。1976—2001 年间农业扩张使土地利用重心由北偏西 65 度移动了 19.20 km，2001—2008 年间的农业扩张使土地利用重心由南偏西 89 度移动了 3.69 km。

将 1976 年的土地利用程度重心点 O 设为原点，2001 年的重心点依次为 $O(0, 0)$ ， $P_1(-12.94 \text{ km}, 8.65 \text{ km})$ ， $P_2(-17.41 \text{ km}, 8.10 \text{ km})$ ；将 2008 年的土地利用程度重心点 O 设为原点，2008 年的重心点为 $O(0, 0)$ ， $Q_1(-0.26 \text{ km}, -0.27 \text{ km})$ ， $Q_2(-3.69 \text{ km}, -0.08 \text{ km})$ 。由前面的分析可知， $\overline{OP_3}$ 是 1976—2001 年气候

和农业扩张共同影响下的土地利用程度偏移量, $\overline{OQ_2}$ 是 1976—2001 年仅由农业扩张引起的土地利用程度偏移量, $\overline{OP_3}$ 为 1976—2001 年由气候变化引起的土地利用程度偏移量 (图 6); $\overline{OQ_1}$ 是 2001—2008 年气候和农业扩张共同影响下的土地利用程度偏移量, $\overline{OQ}$ 是 2001—2008 年仅由农业扩张引起的土地利用程度偏移量, $\overline{OQ_3}$ 为 2001—2008 年由气候变化引起的土地利用程度偏移量 (图 7)。根据矢量合成原理, 有 $\overline{OP_1} = \overline{OP_2} + \overline{OP_3}$, 设 P_3 (x, y), 将 P_1 、 P_2 、 P_3 三个点的值代入上式, 可得到 P_3 的坐标 (4.47 km, 0.55 km), 同理由 $\overline{OQ_1} = \overline{OQ_2} + \overline{OQ_3}$ 得出 Q_3 坐标 (3.43 km, -0.19 km)。根据余弦定理, 1976—2001 年气候变化导致的土地利用重心由北偏东 83 度移动了 4.51 km, 2001—2008 年气候变化导致的土地利用重心由南偏东 87 度移动了 3.44 km。

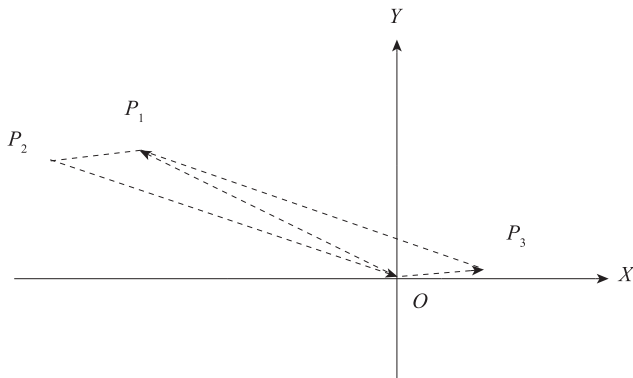


图6 1976—2001年土地利用重心位移

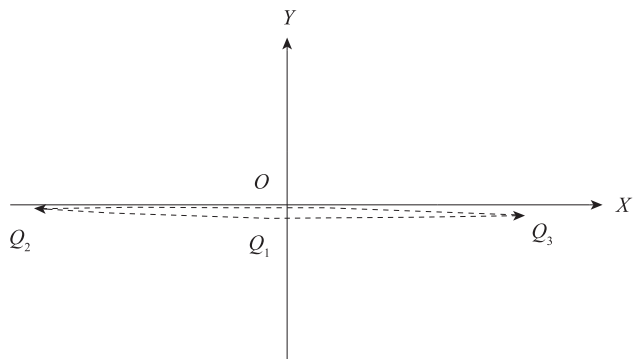


图7 2001—2008年土地利用重心位移

根据矢量合成原理计算得, 1976—2001 年的土地利用程度在南北方向偏移强度上, 人为影响占 94%, 气候影响占 6%; 东西方向偏移强度上气候影响占 20%, 农业扩张影响占 80%。2001—2008 年土地利用程度在南北方向偏移强度上, 人为影响占 30%, 气候影响占 70%; 东西方向偏移强度上气候影响占 48%, 农业扩张影响占 52%。

3 结论

(1) 研究区域 1976—2008 年最主要的土地利用类

型是农田, 影响 LUCC 最主要的人类活动是农业扩张。1976—2001 年的土地利用最显著的变化是农田面积的增加和水体、湿地面积的减少。2001—2008 年林地和农田相互转化, 林地转化为农田的面积较大, 农业扩张放缓。

(2) 研究区域 1976—2001 年的土地利用程度增加显著, 2001—2008 年的土地利用程度增加不明显。

(3) 研究区域 1976—2008 年生长季气温一直呈上升趋势。1976—2001 年生长季气温的上升趋势不稳定, 气温变化程度较大; 2001—2008 年生长季气温上升趋势显著, 且上升趋势一直增加, 气温变化比上一时期更稳定, 气温变化程度较小。

(4) 研究区域 1976—2001 年的土地利用重心由北偏西 56 度移动了 15.56 km; 土地利用程度在南北方向偏移强度上农业扩张的影响占 94%, 气候影响占 6%; 土地利用程度在东西方向偏移强度上气候影响占 20%, 农业扩张的影响占 80%。2001—2008 年的土地利用重心由南偏西 44 度移动了 0.37 km; 土地利用程度在南北方向偏移强度上, 农业扩张的影响占 30%, 气候影响占 70%; 土地利用程度在东西方向偏移强度上气候影响占 48%, 农业扩张的影响占 52%。

参考文献

- [1] 陈云浩, 李晓兵, 史培军. 1983—1992 年中国陆地 NDVI 变化的气候因子驱动分析 [J]. 植物生态学报, 2001, 25(6): 716—720.
- [2] BROWN M E, DE BEURS K M. Evaluation of multi-sensor semi-arid crop season parameters based on NDVI and rainfall[J]. Remote sensing of environment, 2008, 112(5): 2261—2271.
- [3] 孙红雨, 王长耀, 牛铮, 等. 中国地表植被覆盖变化及其与气候因子关系——基于 NOAA 时间序列数据分析 [J]. 遥感学报, 1998, 2(3): 204—210.
- [4] 袁雷, 杜军, 周刊社. 西藏怒江河谷流域 NDVI 变化与主要气候因子的关系 [J]. 草业科学, 2010, 27(8): 52—58.
- [5] 赵文武, 吕一河, 郭雯雯, 等. 陕北黄土丘陵沟壑区 NDVI 与气象因子的相关性分析 [J]. 水土保持研究, 2006, 13(2): 112—114.
- [6] 黄莹, 包安明, 王爱华, 等. 近 25a 新疆 LUCC 对气候变化及人类活动的响应 [J]. 干旱区资源与环境, 2009, 23(10): 116—122.
- [7] 高志强, 刘纪远. 1980—2000 年中国 LUCC 对气候变化的响应 [J]. 地理学报, 2006, 61(8): 865—872.
- [8] 陈隆勋, 朱文琴, 王文, 等. 中国近 45 年来气候变化的研究 [J]. 气象学报, 1998, 56(3): 257—271.
- [9] ASLAN Z, NATARAJAN K, TANKUT M. Vegetation pattern of istanbul from the landsat data and the relationship with meteorological parameters[J]. Annales geophysicae, 1994, 12(6): 574—584.