

1965 ~ 2014 年我国温度和降水变化趋势分析

佟金鹤 (中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所, 北京 100081)

摘要 利用中国地面气候资料日值数据中的 385 个台站 1965 ~ 2014 年气温和降水资料, 采用统计分析和 OPTICS 等方法, 对近 50 a 我国日最高、最低、平均气温和降水量的整体变化趋势以及不同时段的变化趋势进行了分析。结果表明, 近 50 a 来我国整体升温, 华南以及华中地区南部、西南地区北部升温较弱; 东北、华北地区北部, 西北地区升温较强, 且最低气温升高程度普遍高于平均气温和最高气温。全国范围内降水变化区域差异较大, 华东地区降水明显增多, 西南、华北地区降水减少; 东北、华中地区降水变化区域性差异较大, 西北地区降水变化程度不大, 以增加为主。近 50 a 来东北、华北地区在 1985 ~ 1994 年增温最快, 华南、华中、西南、西北地区西南部在 1995 ~ 2004 年增温最快; 而 2005 ~ 2014 年我国大部分台站呈现变冷趋势。降水方面, 华东地区降水明显增多, 西南、华北地区降水减少, 降水明显变化主要发生在 4 ~ 10 月, 对西南地区降水减少贡献最大的是 6、8 月; 华北降水减少主要发生在 7 ~ 8 月; 华东地区降水增加月份是 1、3、7 和 8 月, 减少程度较大的月份是 4、5 和 9 月。

关键词 气温; 降水; 变化趋势

中图分类号 S161 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2016)12-229-07

Analysis of Temperature and Precipitation Change Trend in China during 1965 to 2014

TONG Jin-he (Institute of Environment and Sustainable Development in Agriculture, CAAS, Beijing 100081)

Abstract Based on the temperature and precipitation resources of 385 stations in daily data of ground climatic resources of China from 1965 to 2014, statistical analysis and OPTICS method were used to analyze the overall trend of daily maximum, daily minimum, average temperature and precipitation in China in recent 50 years, as well as the change trends of different time periods. Result showed that there was an overall warming trend in China in recent 50 years. The warming trend was weak in south China, southern part of central China, and northern part of southwest China; while in northeast China, northern part of north China and northwest China, the warming trend was strong. In these areas, the elevated level in lowest temperature was generally higher than that of the average temperature and the highest temperature. Precipitation change showed great regional differences in China. There was an obvious precipitation increase in east China, while there was a decrease in southwest and north China. The precipitation variation in northwest China was relatively small, while those in northeast and central China were relatively great. In the past 50 years, the northeast China and north China had the fastest increase in temperature in 1995 - 2004, while stations in most areas of China showed a trend of getting cold in 2005 - 2014. As for precipitation, there was an obvious increase in East China, while there was a decrease in southwest and north China. The precipitation variation mainly occurred from April to October. And July and August had the greatest contribution to the precipitation decrease in southwest China. Precipitation decrease in north China mainly occurred from July to August; while precipitation increase mainly appeared in January, March, July and August; and the reduced degree was the maximum in April, May and September.

Key words Temperature; Precipitation; Change trend

过去的百年间, 全球几乎均经历了显著的变暖^[1]。在此背景下, 我国也表现出了显著的变暖趋势^[2-4], 其中, 以北方地区冬季变暖最为显著^[5-6], 我国气温整体升高的同时还呈现出明显的波动性和准周期性变化^[7-8]。有研究认为, 目前全球气候变暖有所减缓, 已经陷入停滞, 或已经开始变冷^[9-11]。全球降水变化空间差异较大, 仅以北半球陆地降水增加信度较高^[1]。对于我国, 遭受气象干旱的范围明显增加, 其中华北、东北地区干旱面积增加更为显著^[12], 而青藏地区有变湿的趋势^[13]。气候变化使我国农作物理论种植界限和自然植被可能分布界限北移^[14-15]、物候期改变等^[16-17]。然而在不同的地区, 气候变化程度不同, 自然生态、社会经济环境对气候变化的响应方式和程度也有很大差异。因此, 研究我国气候变化的空间差异具有重要意义。笔者利用 1965 ~ 2014 年中国地面气候资料日值数据中的气温和降水资料, 采用统计分析和 OPTICS 等方法, 对近 50 a 我国日最高、最低、平均气温和降水量的整体变化趋势以及不同时段的变化趋势进行了分析, 以期为我国农业及其他行业适应气

候变化工作提供依据。

1 资料与方法

1.1 数据来源 所用的数据主要来自国家气候中心资料室提供的中国地面气候资料日值数据集。中国地面气候资料日值数据集来源于各省、市、自治区气候资料处理部门逐月上报的《地面气象记录月报表》的信息化资料。从该数据集中选取连续性较好、缺测值较少的 385 个台站 1965 ~ 2014 年的数据, 包括日平均气温、日最高气温、日最低气温、日降水量。

1.2 分析方法 采用统计分析方法, 对最高、最低、平均气温和降水进行年际、年代际、月变化趋势进行分析。对年值的年际变化趋势进行聚类分析, 以获得更具普遍性的气温、降水变化趋势^[18]。聚类过程中以每个台站为一个对象, 将近 50 a 间的最高、最低、平均气温和降水变化线性趋势作为对象的 4 个属性, 利用 OPTICS 方法, 对最高、最低、平均气温和降水属性进行聚类分析。为保证不同属性数据在聚类过程具有同等的重要性, 在聚类前对输入数据依照各自属性按照 Z-score 标准化方法进行归一化处理。OPTICS 方法对输入参数不敏感, 但参数会对聚类结果有细微影响。经过参数调整, 最终选取 $\epsilon = 3$ 、MinPts = 5 作为输入参数 (ϵ 为每个对象待考察的邻域半径, MinPts 是指一个对象成为核心对象最少需要包含的对象数)。

基金项目 “十二五”科技支撑计划课题(2013BAC09B04); 948 计划重点项目(2011-G9)。

作者简介 佟金鹤(1991-), 女, 黑龙江七台河人, 硕士研究生, 研究方向: 气候变化与农业灾害。

收稿日期 2016-04-06

2 结果与分析

2.1 气温、降水的年变化趋势 从图 1a 可以看出,近 50a 我国主要表现为升温,华南、华中地区南部以及西南地区北部升温较弱;东北、华北地区北部,西北地区升温较强,且这些地区最低气温升高程度普遍高于平均气温和最高气温。这

与潘根兴等^[19]的研究结果基本一致。图 1b 显示,华东地区降水明显增多,西南、华北地区降水减少;东北、华中地区降水变化区域性差异较大,西北地区降水变化不大,以增加为主;西南地区降水减少区域降水变化程度最大,同时该区域也是我国最大空间上连续的降水减少区域。

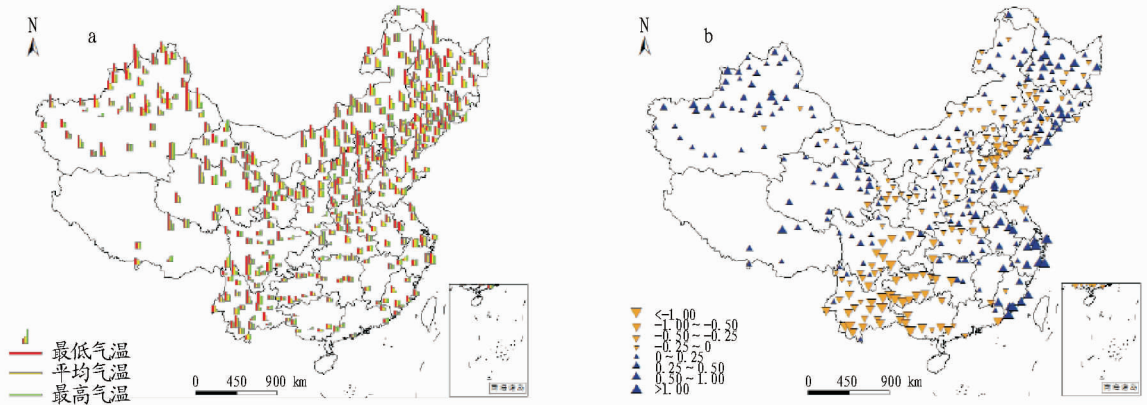


图 1 1965 ~ 2014 年年平均气温 (a, °C/10 a) 和降水 (b, mm/10 a) 变化趋势

Fig. 1 Change trends of annual average temperature (a, °C/10 a) and precipitation (b, mm/10 a) in 1965 - 2014

为进一步对近 50 a 来我国气候变化趋势进行分析,利用 OPTICS 方法对气温(最高、最低、平均)和降水属性进行聚类分析。从图 2 可以看出,整体上,我国各个台站间气温(最高、最低、平均)和降水变化程度较为相似,没有明显的低密度区,可将各个台站分为多个簇,但可达图尾部存在稀疏点。选择 $\epsilon = 0.9$ 作为核心距离,从而可达距离 < 0.9 的所有台站可以看做一簇,其余 32 个台站初步判定为气候变化平均趋势的全局离群点。从离群点的地理位置(图 3)和台站分布(图 1a)可以看出,离群点受区域台站分布疏密的影响并不明显,其之所以被判定为离群点,是由于其气温、降水变化的特异性所致。我国东南部地区气温变化与全国其他台站较

为一致,其他地区如东北、华北、西北、西南等地均有气温变化的离群点存在,西藏地区台站稀疏,不能做出区域性的论断。离群点中因最高气温异常(主要为偏高)造成的离群点最多,其次为平均气温异常(偏高和偏低相当),最低气温异常对离群的贡献相对较小。

为获得更为普遍的气温、降水变化趋势,统计剔除离群点的数据发现,近 50 a 来我国日平均气温、日最低气温、日最高气温的变化趋势分别为 $0.003 \sim 0.597$ 、 $-0.021 \sim 0.984$ 、 $0.001 \sim 0.483$ °C/10 a,日均降水量的变化趋势为 $-0.149 \sim 0.116$ mm/10 a。

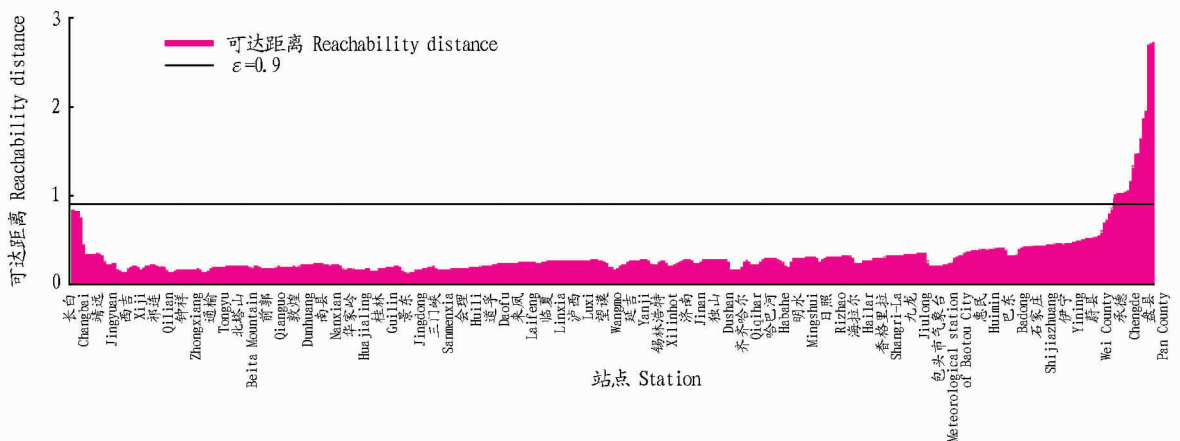


图 2 1965 ~ 2014 年我国气温和降水变化趋势簇排序

Fig. 2 Cluster ordering of precipitation and temperature changing trends in China from 1965 to 2014

2.2 不同时段气候变化的差异 将 1965 ~ 2014 年我国气温和降水每 10 a 划分为一个时段,分别计算各个时段内年均日最低、平均、最高气温和降水的变化趋势。从图 4 可以看出,最低气温,东北地区升温主要发生在 1965 ~ 1974、1975 ~ 1984、1985 ~ 1994 年,华北、华东地区则以 1985 ~ 1994、

1995 ~ 2004 年增温最快;西北地区升温主要集中在 1975 ~ 1984、1985 ~ 1994、1995 ~ 2004 年,其中南部 1995 ~ 2004 年增温贡献最大;而在西南、华中、华南地区最低气温变化较为平缓;近 50 a 来最低气温的降低主要发生在 2005 ~ 2014 年,其中尤以东北地区,西北地区,华中地区北部和华北地区北部

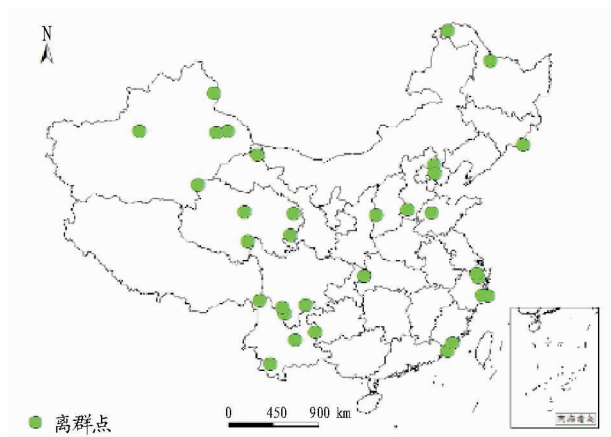


图3 1965~2014年我国气温和降水变化趋势离群点

Fig. 3 The outliers of precipitation and temperature trend in China from 1965 to 2014

降低最多。各时段中平均气温和最高气温变化趋势与最低气温变化趋势整体相似,主要的不同之处在于东北地区1975~1984年平均气温和最高气温升高较少,部分台站有下降趋势;华中地区北部最高气温在1965~1974、1975~1984年下降明显。

从图4d可以看出,1965~2014年我国西北部大陆性气候区降水变率小,且在50a中普遍始终保持增加趋势,西南地区、华北地区西部降水以减少为主。东部季风区降水变率较大、区域性较强,其中东北地区北部降水1995~2004年下降,2005~2014年又回复上升趋势。东北地区,华南地区东南部,华中地区北部以及华北的沿海地区近20a降水则呈现较为一致的减少趋势。华中地区南部在不同时段中降水变率大,且差异显著,没有明显一致性的变化趋势。

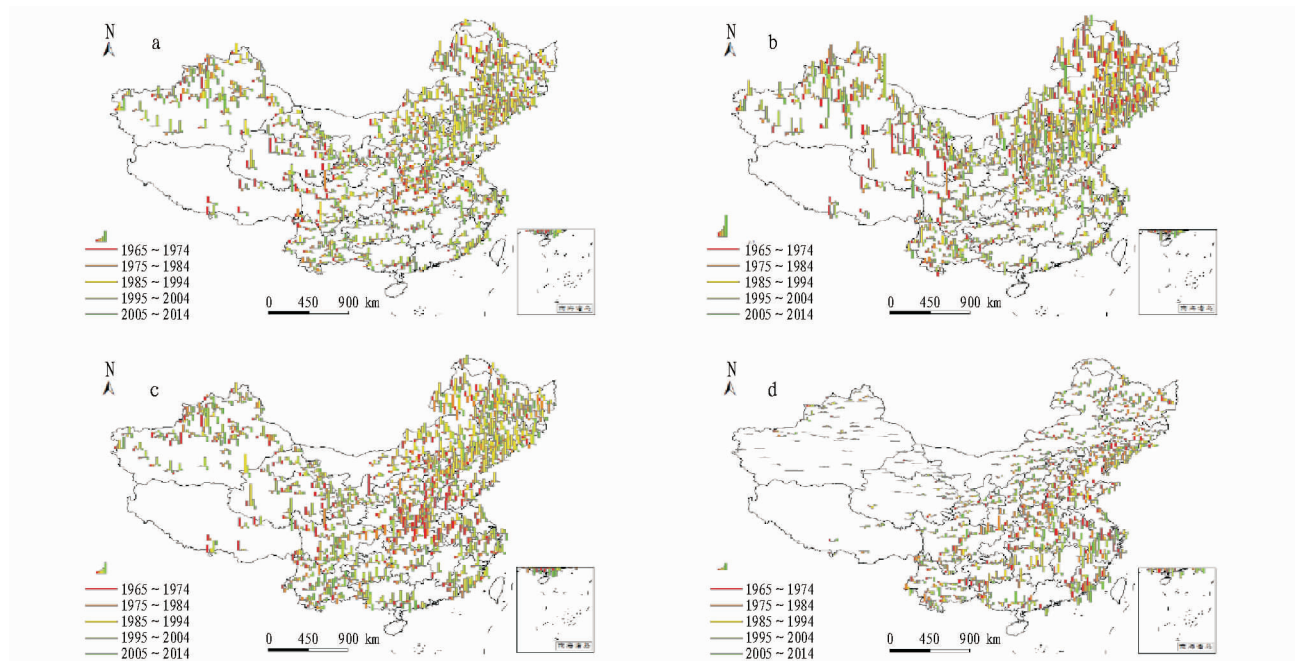


图4 1965~2014年我国不同时段年均平均气温(a)、年均最低气温(b)、年均最高气温(c)和年均日降水量(d)变化趋势

Fig. 4 Change trends of the annual average temperature(a), annual minimum temperature(b), annual maximum temperature(c) and annual average daily precipitation(d) in different periods in China from 1965 to 2014

2.3 气温、降水的月变化特征

2.3.1 平均气温。由图5可见,近50a来我国月均日平均气温在1月基本呈现全国一致的升高,东北、华北、西北地区升高最为显著,华东地区和华南东部也有较强的升高趋势;华中地区南部和西南、华南部分地区月均日平均气温升高较少,个别台站出现降低趋势。2月,我国北方平均气温的升高更强,西南地区的降温台站增多。3月,我国东北、华北仍保持大幅度的升温趋势,但华中、西南、华南、西北等地降温明显,尤其是西南地区,基本呈现全区域一致的降温趋势,且降温幅度在全国中最大。4月,北方的增温趋势依旧明显,华中、华南也转变为弱的增温趋势,西南和华东是我国主要的降温区域。5月,我国东北和华北开始出现零散的降温台站,华南也由4月的一致增温转为基本一致的降温,西南地区的

降温区域收缩。6月,我国主要的降温区域位于我国中部,主要包括华中地区,华东地区西部,西北、西南地区的东部。7月,我国约有50%区域呈现降温趋势,我国的南方长江流域是降温程度最大的地区,而北方尤其是东北、华北地区,仍以增温为主。8月,我国华东、华中仍为降温趋势,而华北、东北仍为升温,华南地区由弱的降温转变为弱的增温。9月,东北、华北的升温区域有所扩大,大体上祁连山以东、秦岭淮河以北为一致的增温趋势,其余地区有连续或零散的降温。10月,全国基本为一致的升温,华南、华东地区的升温普遍强于东北。11月,西北地区的升温程度最大,其余地区除个别台站有降温趋势外,基本呈现一致的增温。12月,我国升温明显,其中西北、华北升温极为显著,而东北地区北部升温弱于南部。

综合来看,仅在10月~次年2月我国基本保持一致的增温趋势,而在其他月份我国均有明显的降温趋势。不同月份中,降温主要发生在我国南方地区,相较而言,北方普遍以增温为主,且冬半年升温高于夏半年。对于南方地区,盛夏的降温有利于高温灾害的减轻,但初夏和秋季的降温则可能导致作物热量的亏缺。北方热量条件较差,升温改善了北方

的热量条件,理论上降低了低温灾害的发生风险,同时使得热量需求较高、经济效益较好的作物得以北扩,如水稻种植区域在东北地区的扩大。然而,作物的北扩加大了东北地区对热量的需求,即便是零散的弱降温(如东北、华北地区5月的降温)也可能对农业生产产生重要影响,同样需要给予充分的重视。

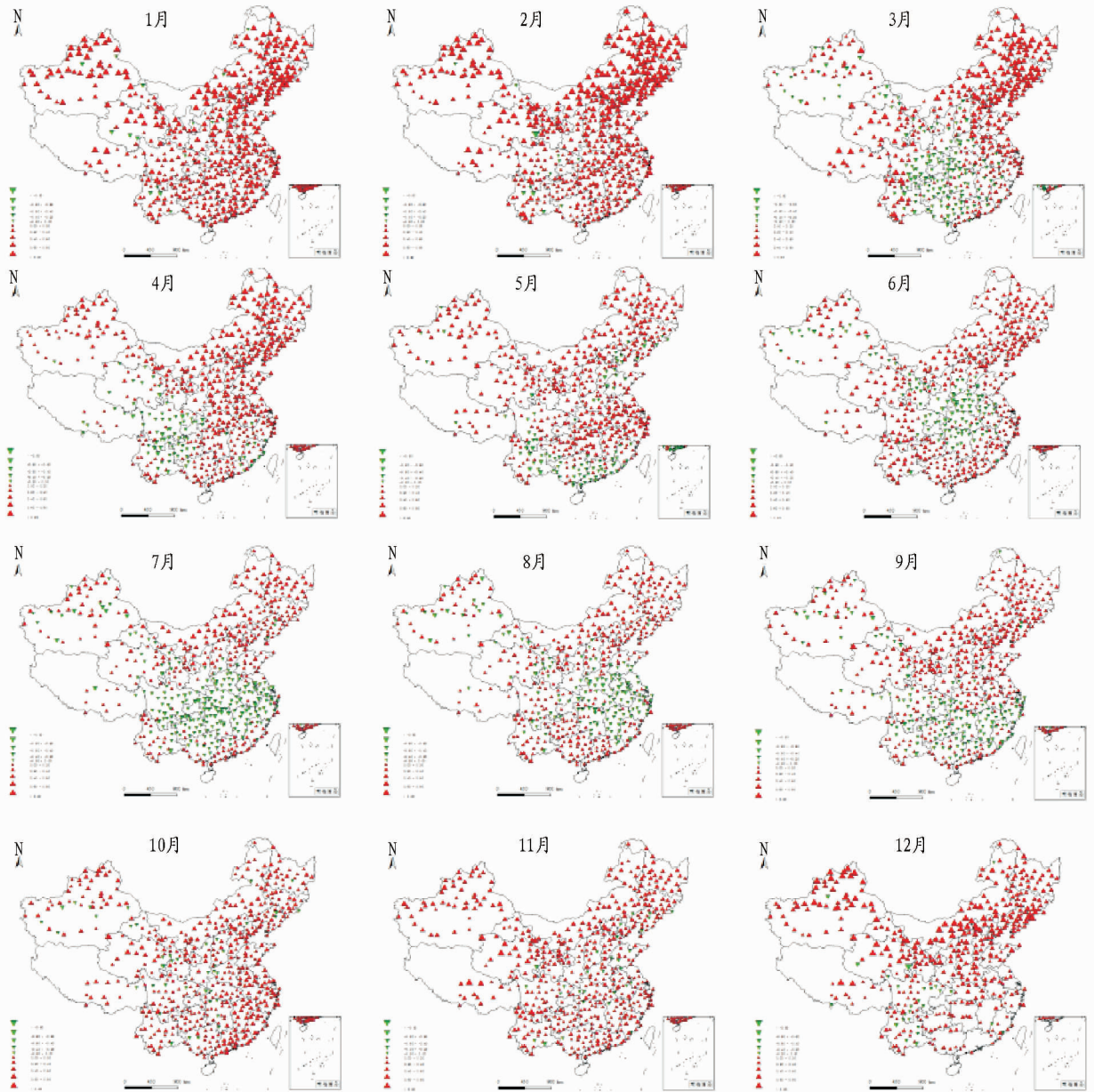


图5 1965~2014年1~12月我国日平均气温月均值变化(单位:℃/10 a)

Fig.5 Monthly average change of daily mean temperature in China from January to December in 1965-2014

2.3.2 最高气温。由图6可见,近50 a我国最高气温的变化趋势与平均气温有一定的相似性,均呈现北方升高高于南方;但最高气温的升高趋势明显弱于平均气温,仅在2和12月有较大面积区域升温趋势超过0.8℃/10 a;在全年均有地区呈现出明显的降低趋势,其中以3月降低幅度最大、范围最广,几乎整个我国中部、南部和西北地区均出现了最高气温的降低。东北、华北地区5~11月出现最高气温降低的区域,其中5月的山东、河北地区降温最多,7~9月出现在东北

地区,尤其是东北地区北部的降温趋势由于正逢农作物的关键生长期,可能产生的不利影响最大。华中、华东、华南等地区夏季有明显的降温,对于夏季炎热的我国东南部地区,最高气温的降低有利于高温灾害的减轻。综上所述,受到夏季最高气温降低的影响,我国南方地区受到高温灾害的威胁可能减轻,但东北地区热量条件本身相对较差,且该地区最高气温降低趋势与农作物生育期重合,因而降温情况需要特别加以重视。冬季最高气温的升高有可能造成北方越冬作物

冬前旺长消耗过多养分、影响越冬,春季返青期提前,从而加重霜冻的危害^[20];对于南方作物始终处于活跃生长期的区

域,最高气温的升高使得作物光合作用效率提高,对农业生产益处较多。

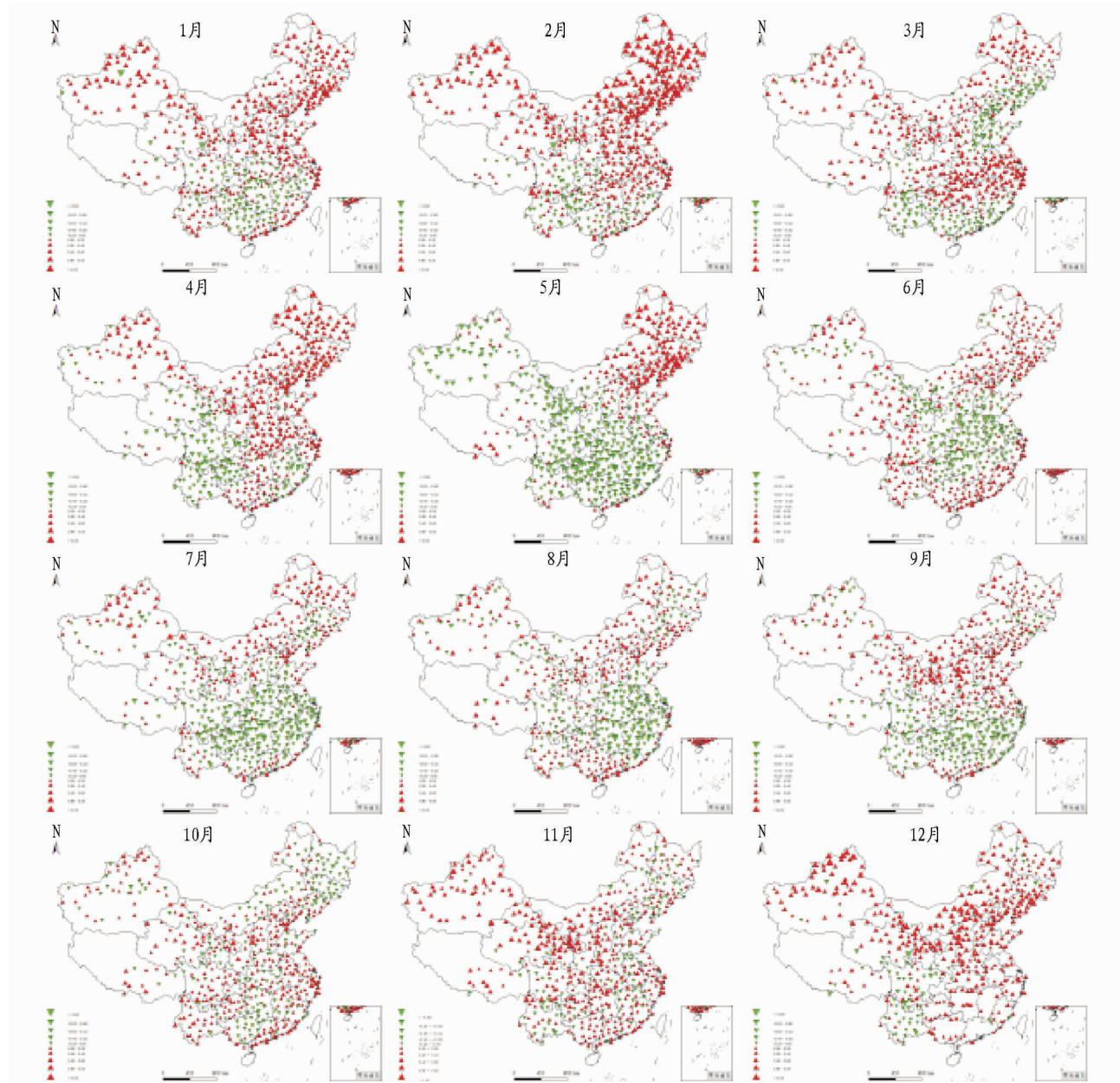


图 6 1965~2014 年 1~12 月我国日最高气温月均值变化(单位:°C/10 a)

Fig. 6 Monthly average change of daily maximum temperature in China from January to December in 1965-2014

2.3.3 最低气温。从图 7 可以看出,相较于最高气温变化趋势(图 6)和平均气温变化趋势(图 5),近 50 a 我国最低气温的升高表现更为明显,在部分月份虽有降低趋势,但其程度在三者中最弱,面积在三者中最小(图 7)。其中,3 月降温出现在我国西南、华南和华中西部;4 月零星出现在西南、西北、华中;5 月主要在我国的华南、西南地区南部,华北、华中和西北亦有台站出现降温。6~8 月,最低气温的降低区域主要在我国南方,其对农业生产的影响降低,该时段我国南方较少发生单纯因气温引起的霜冻、寒害等突发低温灾害。9 月,东北、西北、华北以升温为主,但有个别台站出现降温,我国南部的华中南部、华东南部、华南多数台站呈现降温趋势。10 月,北方变温情况与 9 月类似,而南方则转变为较为一致

的增温趋势;降温主要发生在西北、华北的西部和西南的部分台站。11 月,西北地区最低气温明显升高,降温零散地发生在我国的华北、华中等地。

对农业生产可能产生较大影响的降温区域是:3~5 月出现在我国南部,9 月零散出现在除华北外的全国其他区域的降温趋势。春秋季节最低气温的降低可能导致霜冻灾害的风险增加。夏季最低气温虽有降低,但通常不会成灾,反而会因为夜间呼吸消耗减少增加干物质积累。冬季最低气温的升高有利于我国北方越冬作物安全越冬,但也有可能造成春化不足,不能正常形成花芽^[21]。对于南方作物无明显越冬期的地区,最低气温升高对农业生产有利。另外,最低气温升高可能使得虫卵越冬成活率增高而造成病虫害的加重。

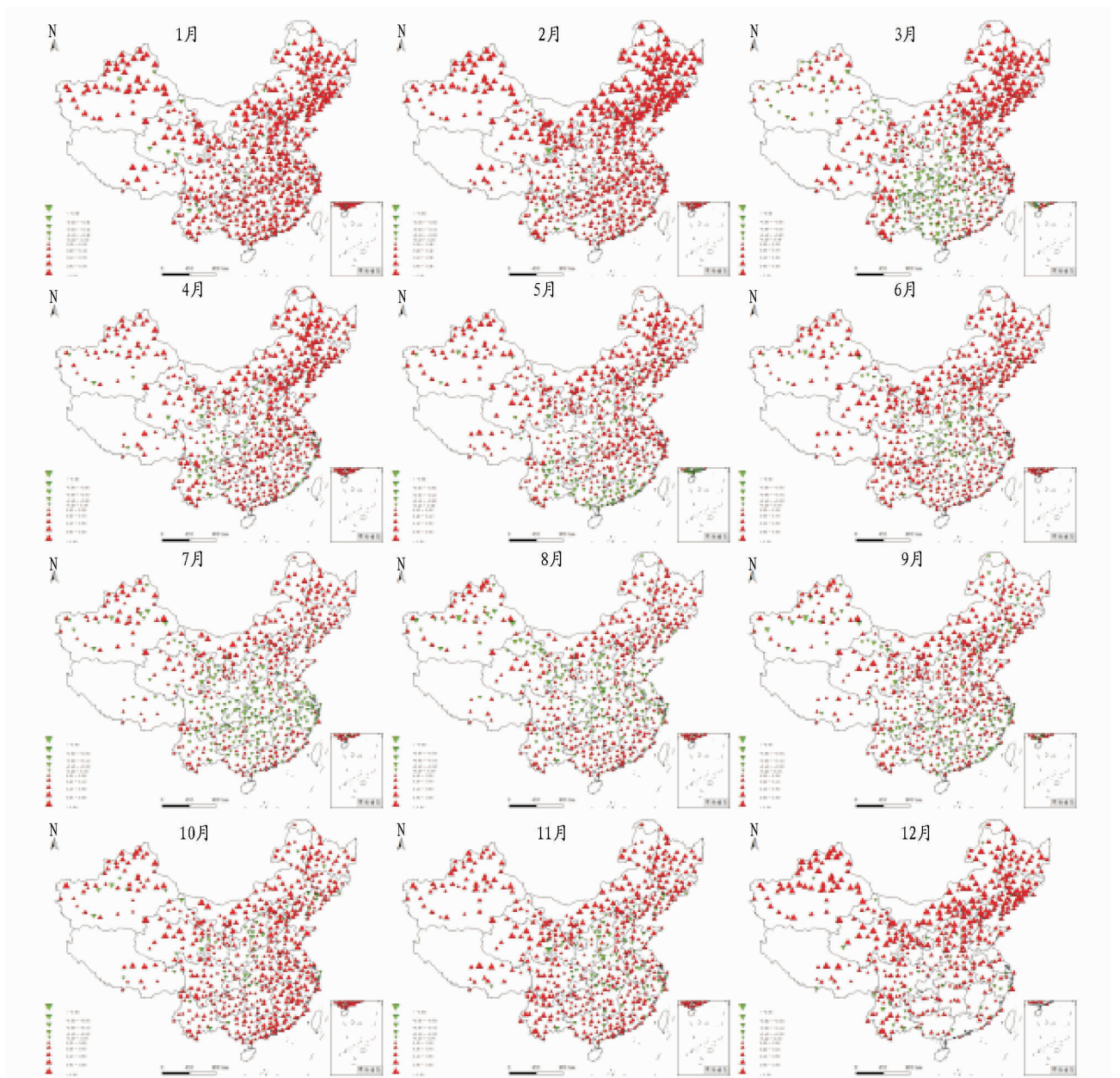


图7 1965~2014年1~12月我国日最低气温月均值变化(单位:℃/10 a)

Fig.7 Monthly average change of daily minimum temperature in China from January to December in 1965-2014

2.3.4 日均降水量。从图8可以看出,我国冬季降水变化小、夏季降水变化大。1月,我国华北和华南地区东部降水减少,山西至云南一带也有降水减少的台站。2月,华北地区降水减少,东北、华南、西北、西南等地也有台站降水减少。3月,降水减少地区主要集中在我国华北、华中以及西北地区东部,而华东地区降水出现较为明显的增加。降水发生明显变化始于4月,4月我国华南、华东、华北、华中等地降水减少,其中华南西部、华中南部降水减少最为明显。5月,华东、华南东部地区降水减少,西南地区南部、华南西部降水增加,我国北方降水量以弱的增加为主,但在东北和西北部分地区也存在相连的降水减少区域。6月,我国南方月均日降水量降水变化较大,其中华南地区降水增加明显,而其周围的福建、江西、云南等地降水明显减少,华东、华南地区北部降水增加。7月,我国东南部降水一致增多,而华北、东北以及西

北地区东部降水明显减少。8月,除华东以及华中东部和华南东部沿海地区降水明显增加外,我国其他区域降水普遍减少,其中华南西部、西南、华北、东北降水减少明显。9、10月降水减少区域进一步扩大,除东南沿海地区和华北、西北部分地区有弱的增加趋势外,全国其他区域降水一致减少。11、12月全国的降水变化幅度均较小。11月,降水以减少为主,但在华东、西北地区北部、青藏高原东部和东北部分地区降水仍呈增加趋势。12月,华北和西南地区降水减少,西北、东北、华东、华中地区北部地区降水增加。整体上,日均降水明显改变的有4月的华南、华中(减少);5月的华东、华南(减少);6月的华南(增加)、西南(减少),华东、华中南部(减少);7月的华北、东北(减少),华南、华中、华东(增加);8月的华北、东北、西南、华南西部(减少),华东和华南地区东南部(增加);9月的华东、西南(减少);10月的华南(减少)。

结合 1965~2014 年年降水变化(图 1b)可以看出,西南地区年降水量减少,全年各个月份中其降水趋势以减少和弱增加为主。华东地区全年降水增加显著,但增加主要发生在 7、8 月,9 月华东降水有明显的减少趋势,其余月份华东地区

未见降水的明显增加。虽然从全年角度来看,东北地区降水普遍增加,但作物产量形成非常关键的 6~9 月东北地区降水普遍减少。华北地区 7~8 月降水明显的减少也会对农业生产产生不利影响。

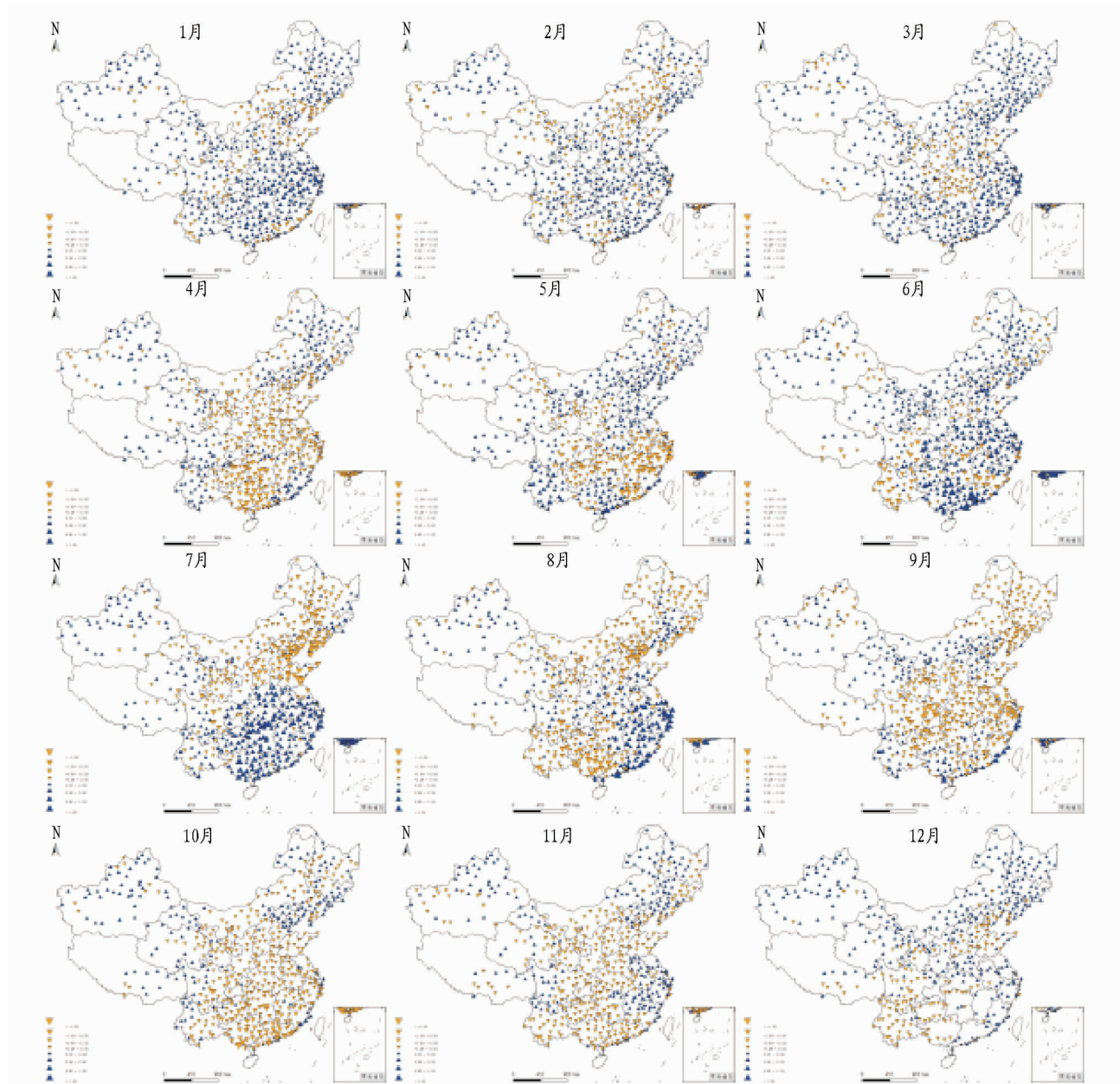


图 8 1965~2014 年 1~12 月我国月均日降水量变化(单位:°C/10 a)

Fig. 8 Monthly average change of daily precipitation in China from January to December in 1965-2014

3 结论

(1) 近 50 a 来我国整体升温,平均气温变化线性趋势为 $0.003 \sim 0.597 \text{ } ^\circ\text{C}/10 \text{ a}$ 。华南以及华中地区南部、西南地区北部升温较弱;东北,华北地区北部,西北地区升温较强,且最低气温升高程度普遍高于平均气温和最高气温。全国范围内降水变化区域差异较大,线性趋势为 $-0.149 \sim 0.116 \text{ mm}/10 \text{ a}$,华东地区降水明显增多,西南、华北地区降水减少;东北、华中地区降水变化区域性差异较大,西北地区降水变化程度不大,以增加为主。

快,华南、华中、西南,西北地区西南部在 1995~2004 年增温最快;1975~1984 年华北、华中、华东等地有变冷趋势;而 2005~2014 年我国大部分台站呈现变冷趋势,其中以东北、华北、西北变冷最为明显。降水方面,我国西北部大陆性气候区降水变率小,在 50 a 中始终保持弱的增加趋势;西南地区、华北地区西部降水持续减少;东北、华南地区的东南部,华中地区北部以及华北的沿海地区近 20 a 降水一致减少;华中地区南部在不同时段中降水变率大,且差异显著,没有明显区域一致性的变化趋势。

(2) 近 50 a 来东北、华北地区在 1985~1994 年增温最

(下转第 259 页)

口数量、经济发展、国家退耕还林、农业结构的调整、农业技术的进步等政策因素的代表。

1999~2012 年若羌县耕地变化的驱动力因子综合得分见图 2。由图 2 可知,1999~2012 年影响若羌县耕地变化的驱动力综合得分逐渐增加。1999~2006 和 2008 年驱动力综合得分均为负值,2007 和 2009~2012 年驱动力综合得分均为正值。2002~2008 年驱动力综合得分增长较为缓慢,2009~2012 年驱动力综合得分增加迅速,表明影响若羌县耕地变化的综合驱动力逐渐加强。

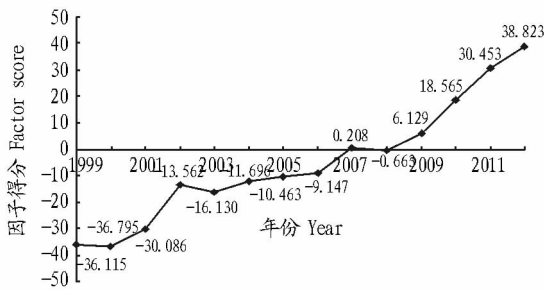


图 2 1999~2012 年若羌县耕地变化的驱动力因子综合得分

Fig. 2 Comprehensive score of driving force factor of cultivated land area change in Ruoqiang County during 1999–2012

3 结论

该研究根据 1999~2012 年若羌县统计数据,分析了若羌绿洲耕地变化情况及导致这种变化的驱动力,得出以下结论:

(上接第 235 页)

(3) 近 50 a 中,不同月份间气温变化线性趋势不同。仅在 10 月~次年 2 月我国月均日平均气温基本保持一致的增加;3~9 月我国均有明显的降温区域。降温在华中、华东、华南、西北、西南、东北、华北均有发生,其中以华中地区降温月份最多、程度最大。与月均日平均气温相比,月均日最低气温变化与之相似,二者降温出现的时段和范围基本一致,但后者升温程度更大,降温程度稍小;而最高气温出现降低的区域更大,时间段更广。

(4) 近 50 a 来我国降水明显变化主要发生在 4~10 月。对西南地区降水减少贡献最大的是 6、8 月;华北降水减少主要发生在 7~8 月。华东地区降水各个月份间差异最大,主要的增加月份是 1、3、7 和 8 月,减少程度较大的月份是 4、5 和 9 月。

参考文献

- [1] IPCC. Climate change 2013: The physical science basis [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2013.
- [2] 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): 2–16.
- [3] 周伟东,朱洁华,李军,等. 华东地区热量资源的气候变化特征[J]. 资源科学, 2009, 31(3): 472–478.
- [4] 王伟东,罗勇,赵宗慈,等. 21 世纪气候变暖并未停滞[J]. 气候变化研究进展, 2013, 9(5): 386–387.
- [5] 龚强,汪宏宇,张运福,等. 辽宁省气候变化及其对极端天气气候的影响[J]. 生态学杂志, 2013, 32(6): 1525–1531.
- [6] 谭方颖,王建林,宋迎波. 华北平原近 45 年气候变化特征分析[J]. 气象, 2010, 36(5): 40–45.

(1) 近年来若羌县耕地变化很显著,从 2002 年开始,在经济因素的导向的推动下,一方面新开垦的耕地面积增加,另一方面原有的耕地转变为枣树园地的速度也很快。2003~2009 年若羌绿洲耕地面积超速上升,7 年净增加 5 260 hm^2 ,平均每年增加 751.4 hm^2 。在水文要素的限制下,开垦荒地也会受到限制,但是为了追求经济效益,原有的耕地退耕为枣园地,因此,从 2010 年开始若羌县耕地面积逐渐下降。

(2) 若羌县各地耕地相对变化率分布的大致空间格局为:除了若羌镇之外,其他乡的耕地面积总体上增加。若羌镇、吾塔木乡耕地的相对变化率为小于 1,铁干里克乡、瓦石峡乡耕地的相对变化率大于 1,瓦石峡乡最高,达 2.77。

(3) 2002~2008 年驱动力综合得分增长较为缓慢,2009~2012 年驱动力综合得分增加迅速,表明影响若羌县耕地变化的综合驱动力逐渐加强。

参考文献

- [1] 赵小汎,代力民,陈文波,等. 耕地与建设用地变化驱动力比较分析[J]. 地理科学, 2008, 28(2): 214–218.
- [2] 王娟,徐华君. 基于自然因素和人类活动的若羌县农业发展变化研究[J]. 安徽农业科学, 2013, 41(26): 10788–10789, 10806.
- [3] 黎绍先,匡鸿海. 重庆市耕地变化及驱动力分析[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(9): 5692–5694.
- [4] 周利梅,赵俊三,李红波. 云南省人口发展与耕地需求预测[J]. 安徽农业科学, 2015(17): 199–201.
- [5] 赵淑清,方精云,陈安平,等. 洞庭湖区近 50 年土地利用/覆盖的变化研究[J]. 长江流域资源与环境, 2002, 11(6): 536–542.
- [6] SWANSON K L, SUGIHARA G, TSONIS A A. Long-term natural variability and 20th century climate change[J]. Proceedings of the national academy of sciences, 2009, 106(38): 16120–16123.
- [7] 梁萍,陈葆德. 近 139 年中国东南部站点气温变化的多尺度特征[J]. 高原气象, 2015, 34(5): 1323–1329.
- [8] 宋斌,智协飞,胡耀兴. 全球变暖停滞的形成机制研究进展[J]. 大气科学学报, 2015, 38(2): 145–154.
- [9] WATANABE M, SHIOGAMA H, TATEBE H, et al. Contribution of natural decadal variability to global warming acceleration and hiatus[J]. Schweizerische zeitschrift fuer forstwesen journal forestier suisse, 2014, 4(10): 625–632.
- [10] BOYKOFF M T. Media discourse on the climate slowdown[J]. Nature Clim Change, 2014, 4(3): 156–158.
- [11] 邹旭恺,任国玉,张强. 基于综合气象干旱指数的中国干旱变化趋势研究[J]. 气候与环境研究, 2010, 15(4): 371–378.
- [12] 李林,陈晓光,王振宇,等. 青藏高原区域气候变化及其差异性研究[J]. 气候变化研究进展, 2010, 6(3): 181–186.
- [13] 杨晓光,刘志娟,陈阜. 全球气候变暖对中国种植制度可能影响 I. 气候变暖对中国种植制度北界和粮食产量可能影响的分析[J]. 中国农业科学, 2010, 43(2): 329–336.
- [14] 刘丹,那继海,杜春英,等. 1961–2003 年黑龙江省主要树种的生态地理分布变化[J]. 气候变化研究进展, 2007, 3(2): 100–105.
- [15] LU P, QIANG Y, LIU J, et al. Advance of tree-flowering dates in response to urban climate change[J]. Agricultural & forest meteorology, 2006, 138(1/2/3/4): 120–131.
- [16] INOUE D W. Effects of climate change on phenology, frost damage, and floral abundance of montane wildflowers[J]. Ecology, 2008, 89(2): 353–362.
- [17] HAN J. 数据挖掘: 概念与技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2012: 307–312.
- [18] 潘根兴,高民,胡国华,等. 气候变化对中国农业生产的影响[J]. 农业环境科学学报, 2011, 30(9): 1698–1706.
- [19] 李茂松,王道龙,钟秀丽,等. 冬小麦霜冻害研究现状与展望[J]. 自然灾害学报, 2005, 14(4): 72–78.
- [20] 程星,秦海英,韩相林. 植物春化作用及其研究进展[J]. 农业科技通讯, 2014(2): 127–128.