

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2016.11.002

近 53 年四川省水稻生育期 热量条件变化规律研究^①

赵 艺^{1,2}, 秦宁生², 卢 杰³, 李金建²

1. 成都信息工程大学 大气科学学院, 成都 610225; 2. 四川省农业气象中心, 成都 610072;
3. 成都市温江区气象局, 成都 温江 611130

摘要: 利用四川稻区 1961—2013 年 110 个站点水稻生育期平均气温、平均最高气温、平均最低气温和积温资料, 对水稻生育期热量条件变化特征进行研究分析. 结果表明: 生育期热量条件整体上呈上升趋势, 气温趋势变化以平均最高气温的平均升幅、呈升温趋势站点数的比例最高, 平均最低气温次之, 平均气温相较最低; 在年代际变化方面, 1980n 与 1970n 的热量条件要素相比, 均表现出以气温升高、积温增加为主, 1970n 与 1960n 的热量条件要素相比, 除平均最低气温表现为升降温面积幅度大致相当, 其余以气温下降、积温减少为主; 利用经验正交函数分解 (EOF) 方法建立稻区热量条件代表性序列, 并分析其整体周期变化特征, 其中生育期平均气温与平均最高气温存在以 2~3 年、14 年及 24 年为主的周期变化, 平均最低气温与积温主要存在 2~3 年、6~7 年、14 年和 24 年的周期振荡模态.

关键词: 水稻生育期; 气候倾向率; 年代际; 经验正交函数分解 (EOF); 小波分析

中图分类号: S511

文献标志码: A

文章编号: 1673-9868(2016)11-0008-08

IPCC 第五次评估报告^[1]指出, 全球气候变化以气候变暖为主要趋势, 1901 年至 2012 年全球平均温度升高了 0.89 °C (0.69~1.08 °C), 且 1951 年至 2012 年间就升高了 0.72 °C (0.490~0.89 °C), 1951 年至 2012 年的气温增长率为 0.012 °C/a (0.008~0.014 °C/a). 对于我国而言, 近 50 多年来全国平均气温也呈现出明显的上升趋势, 地表气温升幅约为 1.1 °C, 气温增长率接近 0.022 °C/a, 增温幅度和速率都高于全球平均水平^[2-8]. 气候变暖对我国各地农业生产有着显著的影响. 汤绪等^[9]指出, 积温的变化使我国种植带界限发生变化, 气温升高导致作物蒸散增加, 干旱的西北地区降水增多使作物生长期得以延长, 而气候湿润的东南部降水过多使生长期缩短. 张强等^[10]研究认为气候变暖对西北地区越冬作物和喜温作物发育有利, 但由变暖引起的土壤干旱化和农作物病虫害的增加则对作物生长不利, 且气候变暖对该地区农作物种植带和作物产量与质量产生影响.

在全球气候变暖的背景下, 四川省气温变化具有一定的区域特色^[11]. Shao 等^[12]指出, 四川盆地在 20 世纪 60 年代经历了冷期, 20 世纪 70 年代到 80 年代是相对平稳期, 20 世纪 90 年代后是明显的暖期, 且春秋的变暖幅度大于冬夏季. 赵静等^[13]发现近 50 年来四川年均最高、最低气温在时间变化和空间分布上都呈现出非对称性. 陈超等^[14-16]指出, 近 50 年来四川盆地气温总体呈上升趋势, 其最低气温升温幅度最大, 显著升温开始于 20 世纪 90 年代, 相对于全国跃变滞后; 年平均气温增温幅度明显低于全国水平, 20 世纪 90 年代后偏暖年份增加; 超过 0 °C 积温和超过 10 °C 积温呈增加趋势, 气候带移动明显. 潘建华等^[17]

① 收稿日期: 2015-08-28

基金项目: 国家自然科学基金(41375116, 41405077); 四川省气象局科学技术研究开发课题(2013-开发-14).

作者简介: 赵 艺(1990-), 女, 新疆哈密人, 硕士研究生, 主要从事气候变化对农业的影响评价研究.

通信作者: 秦宁生, 研究员.

认为四川盆地气温变化大范围内表现出冷暖一致的特性, 不同季节气温分布特征较稳定相似. 这些研究很好地揭示了四川省气温变化规律, 但其研究对象均为全年或各个季节的气温要素, 而针对四川省水稻生长季气温类要素(热量条件)变化规律的研究仍较罕见, 也就使得气候变化的研究对于水稻生产的针对性不足. 本文拟利用四川省主要水稻种植区近 53 年的气象资料, 对该区域水稻生长季热量条件时空变化规律进行分析, 为有针对性地应对气候变暖及指导农业生产提供科学参考.

1 研究区域、数据来源及研究方法

1.1 区域划分

根据文献[18]将四川省水稻种植地分为 7 个区域(图 1), 分别为盆西平原区(I 区), 盆中丘陵区(II 区), 盆南丘陵区(III 区), 盆东平行岭谷区(IV 区), 盆周山地区(V 区), 川西南中山山地区(VI 区), 川西南中山宽谷区(VII 区). 尽管在不同区域水稻生育期有一定差异, 但仍然集中在 3 月上旬—9 月下旬^[18], 本文主要讨论水稻生育期即 3~9 月热量条件变化情况.

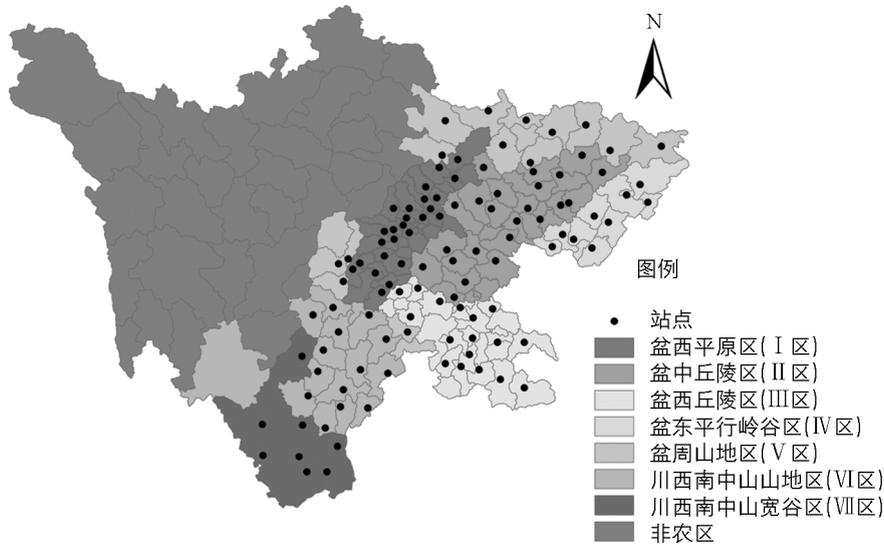


图 1 站点分布及水稻分区

1.2 数据来源

本文所用的气象数据是由四川省气象信息中心提供的四川省水稻种植区内 110 个气象站 1961—2013 年的逐日观测资料(站点分布详见图 1), 并在此基础上计算得到水稻生育期 3—9 月的平均气温、平均最高气温、平均最低气温和积温, 然后利用一元线性回归法对少量缺测数据进行了插值处理.

1.3 研究方法

本文主要利用气候倾向率法探讨四川省水稻生长季热量条件长期变化趋势, 并在此基础上讨论了水稻生长季热量条件在不同气候年代表之间的变化特征, 其中将 1961—1990 年记为 1960n, 1971—2000 年记为 1970n, 1981—2010 年记为 1980n. 同时, 为了研究四川省水稻种植区整体热量变化特征, 在进行 EOF 分析的基础上, 采用第一特征向量时间系数表征整体变化特征, 并对其进行小波分析, 讨论热量条件的周期变化特征. 本文所用到的气候倾向率、EOF、小波分析等统计分析方法^[19-20]在其他研究中均比较常见, 其具体公式在此不再赘述.

2 结果分析

2.1 水稻生育期热量条件长期变化趋势

图 2 给出了四川稻区 1961—2013 年水稻生育期(3—9 月)平均气温、平均最高气温、平均最低气温和积温气候倾向率的空间分布. 图 2a 为水稻生育期平均气温长期变化趋势分布图, 由图 2a 可知, 大多数站点(94 站)呈上升趋势, 增幅为 0~0.046 °C/a, 最大增幅出现在川西南中山山地区的雷波县. 就各个区域而

言, 盆西平原区升温趋势普遍较大, 大多在 $0.015\sim 0.03\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{a}$ 之间, 其余区域均多在 $0\sim 0.015\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{a}$ 之间. 全省仅 16 个站点呈下降趋势, 降幅为 $-0.001\sim -0.014\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{a}$, 最大降幅出现在川西南中山山地区的汉源县. 16 个呈下降趋势的站点中有 5 个站点在盆中丘陵区, 1 个站点在盆南丘陵区, 2 个站点在盆东平行岭谷区, 4 个站点在盆周山地区, 2 个站点在川西南中山山地区, 2 个站点在川西南中山宽谷区.

图 2b 为平均最高气温长期变化趋势分布图, 由图 2b 可见, 绝大多数站点(106 站)呈上升趋势, 增幅为 $0.002\sim 0.058\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{a}$, 最大增幅出现在川西南中山山地区的雷波县和美姑县. 就各个区域而言, 升温普遍较大的区域为盆西平原区和盆南丘陵区, 在 $0.015\sim 0.03\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{a}$ 之间. 仅有 4 个站点呈下降趋势, 川西南中山山地区和川西南中山宽谷区各有 2 个, 最大降幅出现在盐源县, 为 $-0.023\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{a}$.

图 2c 为平均最低气温长期变化趋势分布图, 从图 2c 中可以看出, 大多数站点(100 站)呈上升趋势, 增幅为 $0\sim 0.032\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{a}$, 最大增幅出现在川西南中山山地区的雷波县和美姑县. 升温幅度普遍较大的区域出现在盆西平原区, 在 $0.015\sim 0.03\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{a}$ 之间. 10 个呈下降趋势的站点零星分布于各个区域, 其中川西南中山山地区的汉源县、越西县和盆中丘陵区的西充县下降幅度均比较大, 均为 $-0.009\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{a}$.

图 2d 为积温长期变化趋势分布图, 从图 2d 中可以看出, 大多数站点(88 站)呈上升趋势, 增幅为 $0.276\sim 10.719\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{a}$, 最大增幅出现在川西南中山山地区的雷波县. 升温幅度普遍较大的区域出现在盆西平原区, 在 $3\sim 6\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{a}$ 之间. 22 个呈下降趋势的站点分散性地分布于各个区域, 其中最大降幅出现在川西南中山山地区的汉源县, 为 $-3.172\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{a}$.

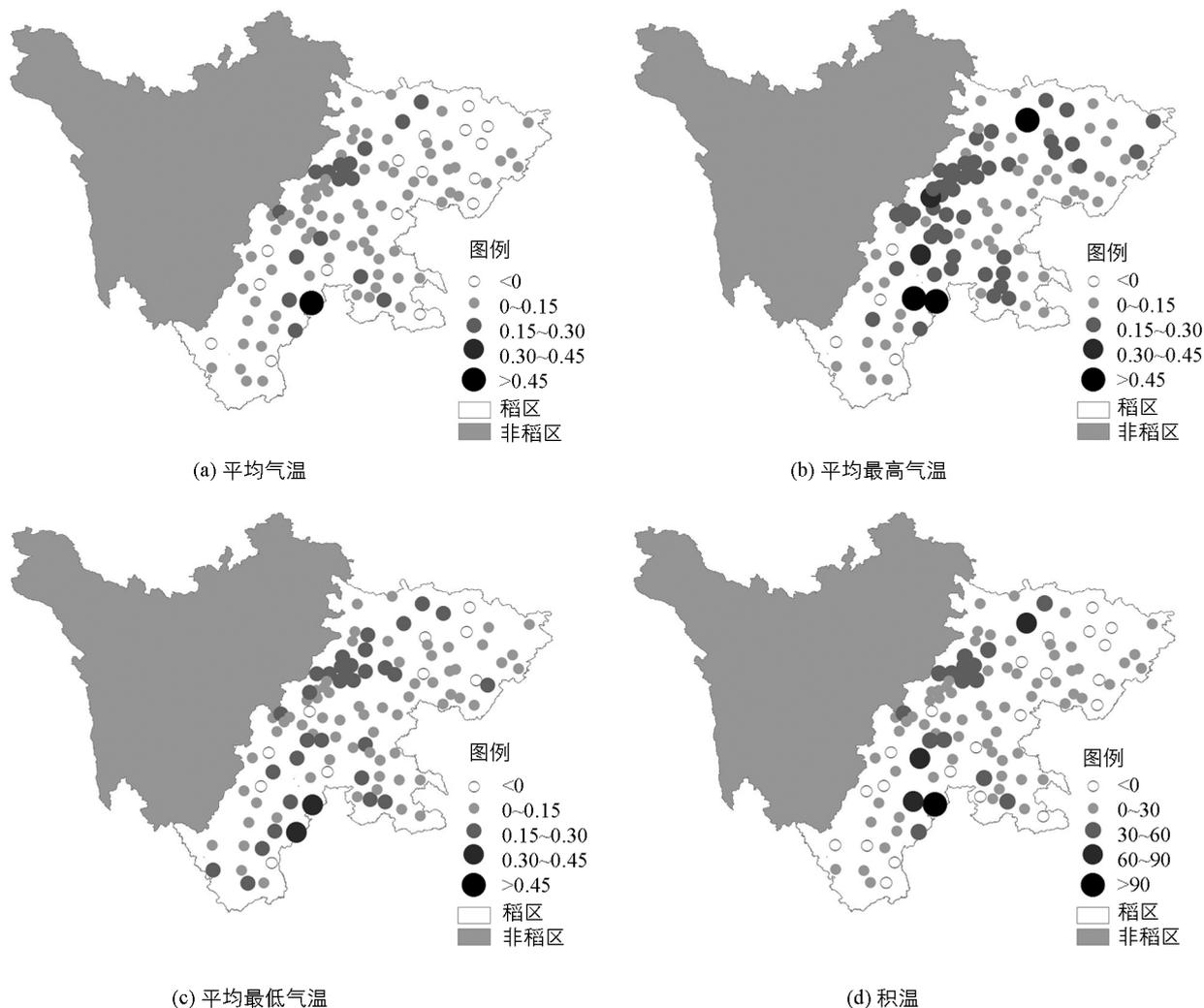


图 2 水稻生育期热量条件气候倾向率空间分布

2.2 水稻生育期热量条件年代际变化

图 3 给出了四川省稻区水稻生育期平均气温、平均最高气温、平均最低气温和积温的不同气候年代之间的变化分布. 其中图 3a、图 3b 分别为 1970n 与 1960n 和 1980n 与 1970n 的平均气温变化情况. 由图 3a、图 3b 可知, 1970n 与 1960n 相比降温区域明显占优, 盆西平原区大部、盆中丘陵区、盆南丘陵区的部分区域、盆东平行岭谷区南部和川西南大部分区域均为降温区域, 最大降温幅度达到 $-0.45\text{ }^{\circ}\text{C}$; 而升温区域主要集中分布在盆西平原区部分区域、盆南丘陵区南部、盆周山地区西部和川西南中山山地区的东北部, 最大升温幅度为 $0.37\text{ }^{\circ}\text{C}$; 1980n 与 1970n 相比则升温区域明显占优, 升温区域主要集中于盆西平原区、盆东平行岭谷区的东南部、川西南中山山地区的东北部和川西南中山宽谷区的南部, 最大升幅达到 $0.78\text{ }^{\circ}\text{C}$; 仅在盆中丘陵区部分区域、盆南丘陵区东部和川西南中山宽谷区北部区域表现出一定幅度的降温, 最大降幅为 $-0.32\text{ }^{\circ}\text{C}$.

图 3c、图 3d 分别为 1970n 与 1960n, 1980n 与 1970n 平均最高气温变化情况, 由图 3c、图 3d 可知, 1970n 与 1960n 相比降温区域明显占优, 且升降温区域与平均气温同时期的变化相似, 但最大升/降温幅度则明显有所增加; 1980n 与 1970n 相比升温区域明显占优, 最大升幅达到 $1.20\text{ }^{\circ}\text{C}$; 只有盆周山地区和川西南中山宽谷区的西部等少数区域出现降温.

图 3e、图 3f 则为平均最低气温分别在 1970n 与 1960n, 1980n 与 1970n 的变化情况, 由图 3e、图 3f 可知, 1970n 与 1960n 相比, 平均最低气温的升降温区域面积大致相当, 且升/降温幅度也普遍不高, 在各区域中以降温现象为主的出现在盆中丘陵区, 以升温为主的区域为盆西平原区, 其余区域则基本呈升/降互现的格局; 1980n 与 1970n 相比则升温区域明显占优, 绝大多数区域表现为一定幅度的升温, 最大升幅达 $1.19\text{ }^{\circ}\text{C}$, 降温区域仅呈零星分布, 最大降幅为 $-0.72\text{ }^{\circ}\text{C}$.

图 3g、图 3h 给出了积温在不同气候年代间的变化情况, 由图 3g、图 3h 可知, 1970n 与 1960n 相比积温以减少为主, 最高减幅可达 $-91.25\text{ }^{\circ}\text{C}$, 而升温区域则分散性分布在盆周山地区、盆东平行岭谷区、盆南丘陵区等地; 1980n 与 1970n 相比则以升温占据绝对优势, 升温幅度最高可达 $167.24\text{ }^{\circ}\text{C}$, 而降温区域仅在部分地方呈零星状分布.

2.3 水稻生育期热量条件代表性序列建立

本文从单站及区域角度讨论了四川省稻区水稻生育期内热量条件的长期变化趋势及年代际变化特征, 可以发现多数站点及区域具有相似的变化规律, 因此本文试图通过数学统计方法建立能够代表整个稻区热量条件变化基本特征的代表性序列.

本研究分别对水稻生育期平均气温、平均最高气温、平均最低气温和积温进行标准化处理后, 进行经验正交函数分解(EOF). 结果显示, 水稻生育期平均气温、平均最高气温、平均最低气温和积温的第一主成分方差贡献分别达到 74.5% , 77.3% , 63.0% 和 76.1% , 且第一特征向量均为正值, 表明整个研究区具有相似的整体变化特征, 其对应的时间系数演变能够反映出全省稻区水稻生育期热量条件的主要变化特征^[21-22]. 分别计算平均气温、平均最高气温、平均最低气温和积温第一主成分对应的时间系数与各站点观测序列的相关系数, 发现 4 个气候要素在 110 个站点中未通过 0.01 信度检验的站点分别有 3 个、2 个、2 个和 4 个, 其余站点均通过了 0.01 的信度检验, 这也进一步说明第一主成分时间系数能够较好地代表水稻生育期热量条件的主要变化特征, 可以作为研究整体变化的代表性序列.

图 4 为四川省稻区水稻生育期平均气温、平均最高气温、平均最低气温和积温的代表性序列, 即各自的第一主成分时间系数变化图. 由图 4 可知, 近 53 年来四川省稻区水稻生育期内热量条件总体呈上升趋势, 且均在 20 世纪 70 年代末之前呈现出波动起伏状, 20 世纪 70 年代末至 20 世纪 90 年代中期以负距平为主, 20 世纪 90 年代末以来以正距平为主.

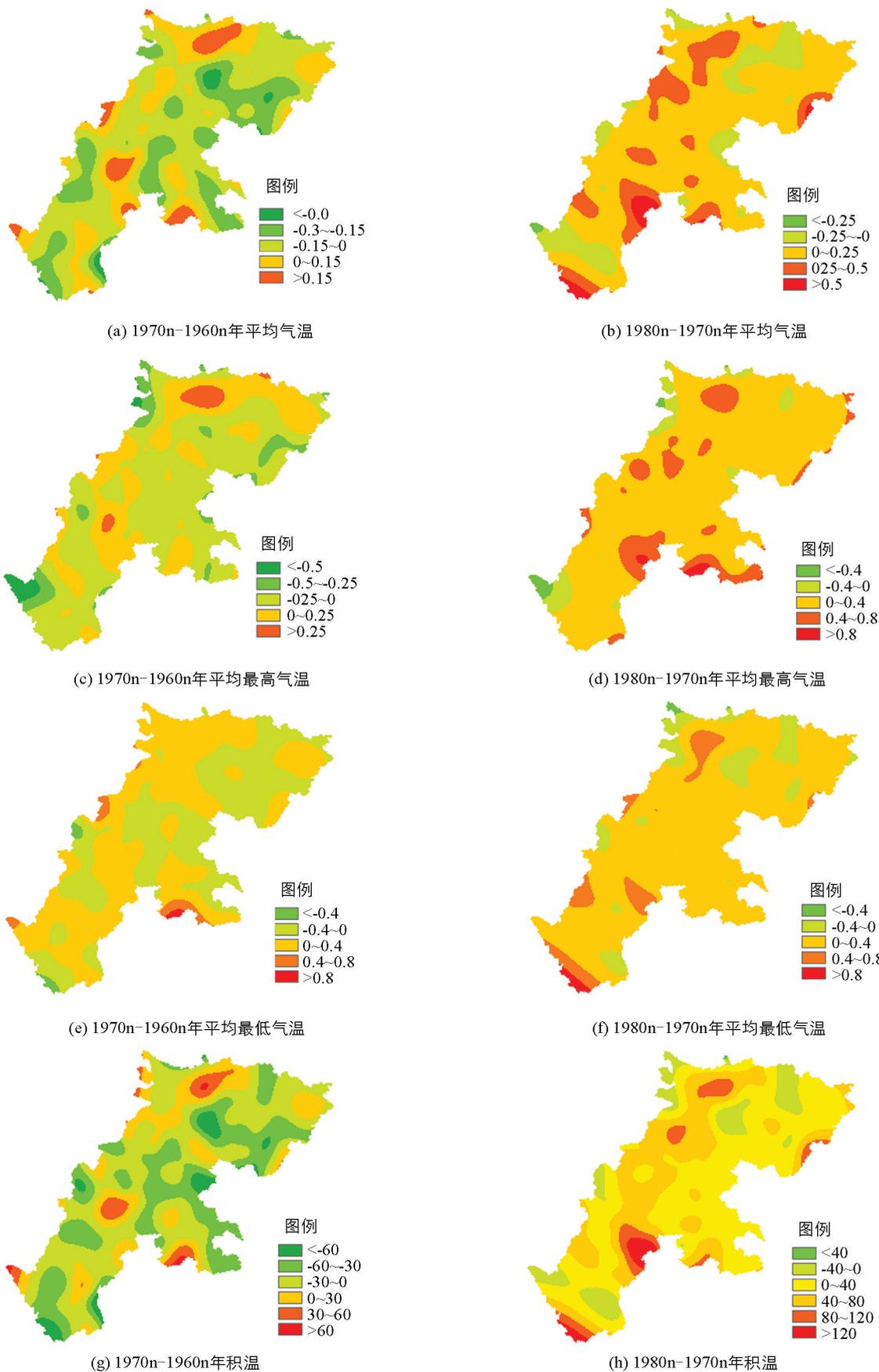


图 3 四川省稻区水稻生育期热量条件气候年代际变化

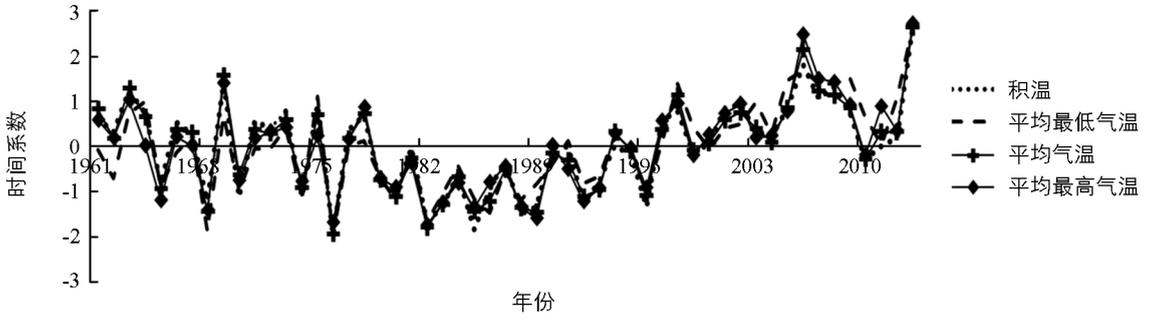


图 4 四川稻区水稻生育期热量条件代表性序列

2.4 周期变化特征

在建立四川省稻区水稻生育期热量条件代表性序列的基础上,利用 Morlet 小波讨论热量条件周期变化特征,图 5 给出了平均气温、平均最高气温、平均最低气温和积温小波变换实部图,其中灰色区域为正值区,白色区域为负值区.

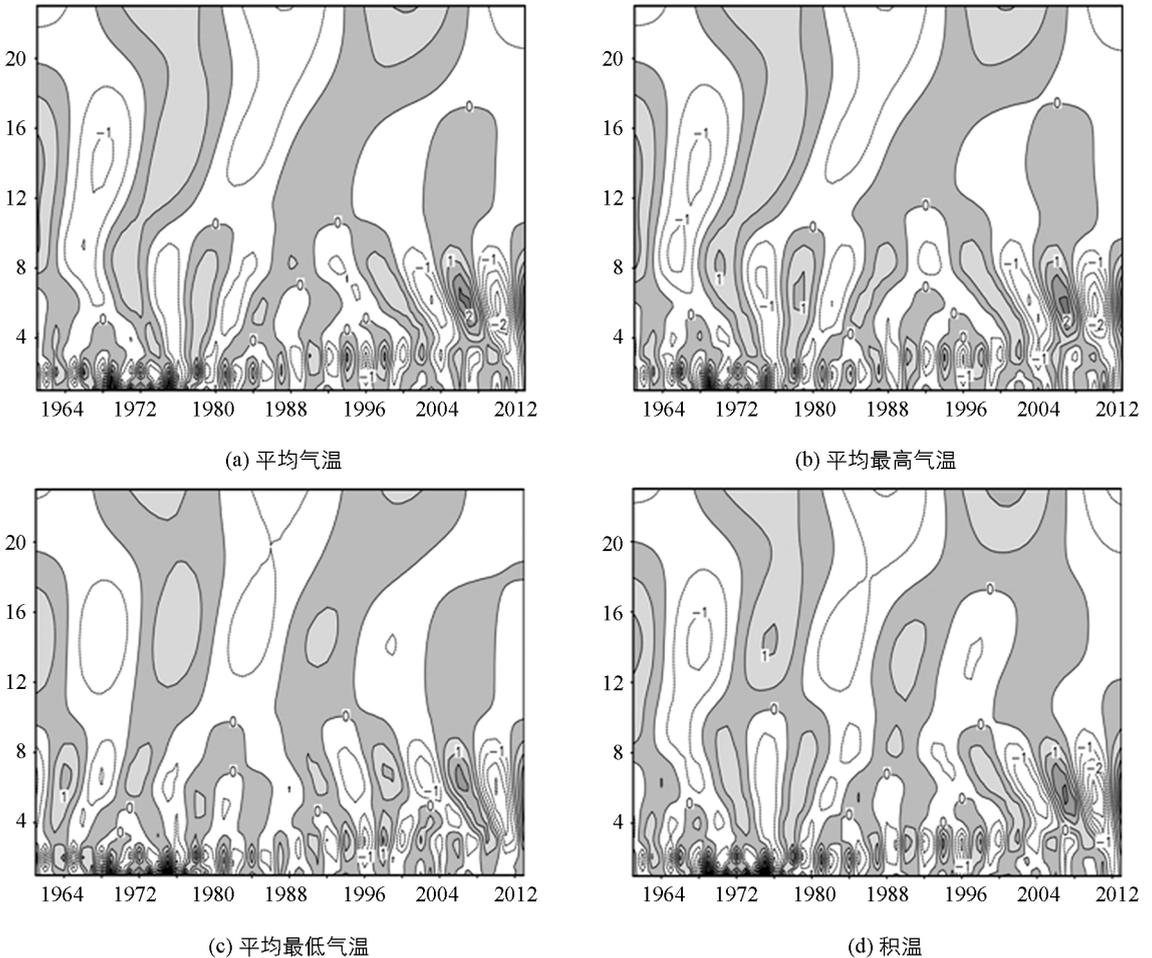


图 5 小波变换实部分布

从图 5a、图 5b 可知,平均气温与平均最高气温的周期变化特征极为相似,在整个时域内明显存在 2~3 年、14 年及 24 年为主的周期变化;其中以 24 年为主周期的振荡模态在 53 年里经历了 4 次转换,表现为低温→高温→低温→高温→低温,转换点分别出现在 1968 年、1980 年、1992 年和 2006 年;以 2~3 年为主的变化周期在 53 年间的存在较稳定,以 2 年为主变化周期在 20 世纪 80 年代中期逐步演变为以 3 年为主的变化周期,在 2010 年后出现弱化现象.此外,9 年周期向 6 年周期的演变也是周期变化的主要特征之一,在 20 世纪 80 年代中期之前,以 9 年为中心的变化周期逐渐演变为 6 年为中心的周期变化,此后在 20 世纪

90 年代一度弱化, 进入 21 世纪后 6 年周期显著增强, 甚至成为最为显著的周期。

平均最低气温与积温则具有相似的周期变化特征(图 5c、图 5d), 其主要特征为存在 2~3 年、6~7 年、14 年和 24 年的周期振荡模态, 其中 2~3 年、24 年周期与平均气温及平均最高气温的变化形态相似(图 5a、图 5b)。此外, 6~7 年的周期变化在 20 世纪 70 年代中至 20 世纪 80 年代末一度弱化, 而后在 20 世纪 90 年代末再次增强, 成为最为显著的周期变化。

3 结论与讨论

1) 从长期变化趋势来看, 四川省稻区水稻生育期热量条件整体呈上升趋势。其中, 生育期平均最高气温的平均升幅最大, 达 $0.016\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{a}$, 升温站点数占总样本数的 96.4%; 平均最低气温的平均升幅为 $0.012\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{a}$, 升温站点数占总样本数的 90.9%; 平均气温平均升幅最小, 为 $0.008\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{a}$, 升温站点数占总样本数的 85.5%。生育期积温的平均升幅达 $1.749\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{a}$, 升高站点数占总样本数的 80.0%。

2) 生育期平均气温和平均最高气温的 1970n 与 1960n 相比, 大部分区域表现为以降温为主, 且降温幅度高于升温幅度, 但平均最低气温则表现为升降区域面积、升降幅度相对持平; 1980n 与 1970n 相比, 各要素都表现为大部分升温, 且升幅明显高于降幅。生育期积温的 1970n 与 1960n 相比, 表现为以积温减少为主, 1980n 与 1970n 相比则表现为大面积和大幅度的积温增加。

3) 近 53 年四川省稻区水稻生育期内热量条件总体呈上升趋势, 且均在 20 世纪 70 年代末之前呈现出波动起伏状, 20 世纪 70 年代末至 20 世纪 90 年代中期以负距平为主, 20 世纪 90 年代末以来以正距平为主。

4) 水稻生育期平均气温、平均最高气温、平均最低气温和积温的周期变化明显。平均气温与平均最高气温的周期变化特征极为相似, 整个时域内明显存在 2~3 年、14 年及 24 年为主的周期变化; 平均最低气温与积温也具有相似的周期变化特征, 整个时域内主要存在 2~3 年、6~7 年、14 年和 24 年的周期振荡模态。

参考文献:

- [1] IPCC, 2013: Summary for Policymakers In Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2013.
- [2] REN G Y, DING Y H, ZHAO Z C, et al. Recent Progress in Studies of Climate Change in China [J]. Advances In Atmospheric Sciences, 2012, 29(5): 958-977.
- [3] GE Q S, ZHENG J Y, HAI Z X. Temperature Variation Over the Past 2000 Years in China [J]. Bulletin of the Chinese Academy of Sciences, 2009, 23(4): 232-233.
- [4] 任国玉, 初子莹, 周雅清, 等. 中国气温变化研究最新进展 [J]. 气候与环境研究, 2005, 10(4): 701-716.
- [5] 任国玉, 郭 军, 徐铭志, 等. 近 50 年中国地面气候变化基本特征 [J]. 气象学报, 2005, 63(6): 942-956.
- [6] 丁一汇, 任国玉, 石广玉, 等. 气候变化国家评估报告(I): 中国气候变化的历史和未来趋势 [J]. 气候变化研究进展, 2006, 2(1): 3-8.
- [7] 左洪超, 吕世华, 胡隐樵. 中国近 50 年气温及降水量的变化趋势分析 [J]. 高原气象, 2004, 23(2): 238-244.
- [8] 任国玉, 徐铭志, 初子莹, 等. 近 54 年中国地面气温变化 [J]. 气候与环境研究, 2005, 10(4): 717-727.
- [9] 汤 绪, 杨续超, 田 展, 等. 气候变化对中国农业气候资源的影响 [J]. 资源科学, 2011, 33(10): 1962-1968.
- [10] 张 强, 邓振镛, 赵映东, 等. 全球气候变化对我国西北地区农业的影响 [J]. 生态学报, 2008, 28(3): 1210-1218.
- [11] 四川亚热带丘陵山区农业气候资源及开发利用课题组. 四川气候 [M]. 成都: 四川科学技术出版社, 1997.
- [12] SHAO J A, LI Y B. Statistics-Induced Data from Meteorological Station Characteristics of Air Temperature Variation in Sichuan-Chongqing for About 50 Years [J]. African Journal of Agricultural Research, 2012, 7(7): 1118-1128.
- [13] 赵 静, 陈 超, 周 斌. 1960~2010 年四川最高、最低气温的非对称性变化特征 [J]. 高原山地气象研究, 2012, 32(3): 42-45.
- [14] 陈 超, 庞艳梅, 张玉芳. 近 50 年来四川盆地气候变化特征研究 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2010, 32(9):

115—120.

- [15] 陈超, 庞艳梅, 潘学标. 近半个世纪以来四川盆地气温和降水的变化特征 [J]. 中国农业气象, 2010, 31(增1): 27—31.
- [16] 陈超, 庞艳梅, 潘学标, 等. 气候变化背景下四川省气候资源变化趋势分析 [J]. 资源科学, 2011, 33(7): 1310—1316.
- [17] 潘建华. 四川盆地气温的时空分布变化分析 [J]. 四川气象, 2006, 26(2): 19—21.
- [18] 张玉芳, 庞艳梅, 刘琰琰, 等. 近 50 年四川省水稻生产潜力变化特征分析 [J]. 中国生态农业学报, 2014, 22(7): 813—820.
- [19] 黄嘉佑. 气象统计分析与预报方法 [M]. 北京: 气象出版社, 2004.
- [20] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术 [M]. 北京: 气象出版社, 1999.
- [21] 李金建, 秦宁生, 孙善磊, 等. 基于均一性检验的 1961 年至 2006 年四川省日照变化规律研究 [J]. 资源科学, 2011, 33(5): 1002—1009.
- [22] 江志红, 丁裕国. 近 40 年我国降水量年际变化的区域性特征 [J]. 南京气象学院学报, 1994, 17(1): 73—78.

The Research into the Change Law of Heat Conditions During the Growing Period of Rice in Sichuan Province in the Recent 53 Years

ZHAO Yi¹, QIN Ning-sheng², LU Jie³, LI Jin-jian²

1. School of Atmospheric Sciences, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China;

2. Sichuan Agricultural Meteorological Center, Chengdu 610072, China;

3. Meteorological Bureau of Wenjiang District, Wenjiang Chengdu 611130, China

Abstract: According to the information of total 110 sites of mean temperature, mean maximum temperature, mean minimum temperature and accumulated temperature during the rice growing period from 1961 to 2013 in rice area of Sichuan, the paper analyzes the characteristics of heat changes during the rice growing period. The results showed that the heat conditions of the growth period were on the rise. For the trend of temperature, the highest mean amplitude and the most percentage of stations show that a warming trend was the mean maximum temperature, the second was the mean minimum temperature, and the lowest one was the mean temperature. For the interdecadal variability, the climate elements increased during the 1980s while compared to the 1970s, but for the 1970s to the 1960s, most of the climate elements were decreased except for mean minimum temperature that temperature-rising and temperature-falling area and amplitude almost kept invariability. Based on the EOF method, this paper built the representative time series of heat conditions and analyzed the cyclic variation in whole. Representatively, the mean temperature and the mean maximum temperature during the growing period have a 2~3a short cycle and a 14a mid cycle as well as an about 24a long cycle. The mean minimum temperature and accumulation temperature share the fluctuation periods of 2~3a, 6~7a, 14a and 24a.

Key words: growth period of rice; climate tendency; interdecadal; EOF; wavelet analysis

