李茂芬,邓吉良,邓春梅,等. 海口晚稻生育期气象因子变化特征及其对晚稻产量的影响[J]. 江苏农业科学,2018,46(14):50 – 57.
doi:10.15889/j.issn.1002 – 1302.2018.14.013

海口晚稻生育期气象因子变化特征及其对晚稻产量的影响

李茂芬[1], 邓吉良[2], 邓春梅[1], 李玉萍[1], 郭澎涛[3]
(1. 中国热带农业科学院科技信息研究所,海南儋州 571737; 2. 海南大学热带农林学院,海南海口 570228;
3. 中国热带农业科学院橡胶研究所,海南儋州 571737)

摘要:为探究海口晚稻生育期气象因子变化规律,提供晚稻生产理论指导,以海口市 1988—2012 年晚稻单产和生育期降水量、平均风速、最大风速、平均气温、日最高气温、日最低气温、平均相对湿度、日照时数为研究对象,应用 Morlet 小波分析、Mann – Kendall 突变检验、线性趋势分析、相关性分析探讨逐日气象因子变化特征及其对晚稻气象产量的影响。结果表明,最大风速和平均风速呈显著上升趋势,日照时数、平均相对湿度呈显著下降趋势,其他气象因子均无明显变化趋势。降水量、平均风速、最大风速、平均气温、日最高气温、日最低气温、平均相对湿度、日照时数突变点分别出现在 2007 年、2011 年、2009 年、2008 年、2009 年、2009 年、2001 年、1993 年。小波分析结果表明,在较小时间尺度上周期振荡剧烈,时间尺度越大,周期振荡越平稳,规律越明显。

关键词:气象因子;晚稻;小波分析;Mann – Kendall 突变检验;生育期
中图分类号: S162　　**文献标志码**: A　　**文章编号**:1002 – 1302(2018)14 – 0050 – 08

水稻为一年生禾本科植物,其产量在我国主要粮食作物中位列首位。近几十年来,全球气候变化明显,农业生产受其影响日趋严重[1-9]。海南省作为我国最具代表性的热带省份,其水稻受热带季风、热带气旋等热带气候的影响尤为敏感。海南省省会海口市位于海南岛北部,毗邻琼州海峡,属于热带海洋性季风气候。海口市年平均气温较高,相对湿度较大,日照时间长,适宜水稻种植。在此背景下,众多学者开展了海口气象变化分析以及气象因子对水稻产量影响的研究[10-18]。许格希等研究认为,海口市近 50 年来气温升高趋势明显,降水波动较大[10]。李福胜等研究发现,海口市冬季降水呈下降趋势,而夏季和秋季呈上升趋势[11]。侯伟等研究表明,海口市平均气温呈显著上升趋势,日照时数呈显著下降趋势,降水变化不明显,且在 2000 年以后的气候变化波动较为强烈[12]。吴文娟等认为,海口市近 50 年来降水量有增加趋势[13];吴名杰等统计分析结果表明,海口市四季的相对湿度和日照时数都呈下降趋势[14];刘胜利等研究表明,晚稻产量变化与生育期内气温相关性显著[15]。张育慧等研究认为,晚稻产量与 7 月中旬降水量、9 月上旬日照时数呈正相关,与 7 月中旬、8 月中旬的平均温度呈负相关[16]。曾海云认为,晚稻易受到寒露风、气温、日照等气象条件影响[17]。以上主要是针对在全年时间尺度上或各个季节气象因子的研究,以及气象因子对全国水稻产量的普遍影响。而海口市作为省会城市,水稻是其主要农作物,晚稻生育期气象因子的变化特征及其对晚稻产量的影响尚未有研究报道。

由于我国幅员辽阔,纬度跨度较大,因此气候类型多样,气候变化背景下各个地区的气候响应不尽相同,在不同地区

收稿日期:2017 – 10 – 09
基金项目:中国热带农业科学院基本科研业务费专项(编号:1630072017004);海南省自然科学基金(编号:20154184)。
作者简介:李茂芬(1984—),女,四川内江人,博士,副研究员,主要从事农业资源信息化研究。E – mail:maofen.li@gmail.com。
通信作者:邓吉良,硕士研究生,主要从事植物生理研究。E – mail:dddjiliang@163.com。

[15]张行峰. 实用农化分析[M]. 北京:化学工业出版社,2005:99.
[16]鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3 版:北京:中国农业出版社,2000.
[17]焦晓光,隋跃宇,魏　丹. 长期施肥对薄层黑土酶活性及土壤肥力的影响[J]. 中国土壤与肥料,2011(1):6 – 9.
[18]温延臣,李燕青,袁　亮,等. 长期不同施肥制度土壤肥力特征综合评价方法[J]. 农业工程学报,2015,31(7):91 – 99.
[19]陈　吉,赵炳梓,张佳宝,等. 主成分分析方法在长期施肥土壤质量评价中的应用[J]. 土壤,2010,42(3):415 – 420.
[20]王　娟,谷雪景,赵　吉,等. 羊草草原土壤酶活性对土壤肥力的指示作用[J]. 农业环境科学学报,2006,25(4):934 – 938.
[21]邱莉萍,刘　军,王益权,等. 土壤酶活性与土壤肥力的关系研究[J]. 植物营养与肥料学报,2004,10(3):277 – 280.
[22]王利辉. 不同来源有机肥及其配合施用对土壤性质的影响[D]. 长春:吉林农业大学,2007.
[23]柳　影,彭　畅,张会民,等. 长期不同施肥条件下黑土的有机质含量变化特征[J]. 中国土壤与肥料,2011(5):7 – 11.
[24]谷思玉,耿泽铭,汪　睿,等. 不同配比生物有机肥对盐渍土改良效果的分析[J]. 东北农业大学学报,2014,45(7),26 – 30.
[25]公丽艳,孟宪国,刘乃侨,等. 基于主成分与聚类分析的苹果加工品质评价[J]. 农业工程学报,2014,30(13):276 – 285.
[26]Yemefack M,Jetten V G,Rossiter D G. Developing a minimum data set for charcterizing soil dynamics in shifting cultivation systems[J]. Soil & Tillage Research,2006,86(1):84 – 98.

农业资源在时间和空间上差异较大。为探究海口晚稻生育期气象因子的变化特征,以及气象因子对晚稻产量的影响,因此本研究选取 1988—2012 年的海口晚稻生育期气象数据及晚稻单产数据,利用线性趋势分析、Mann – Kendall 突变检验、Morlet 小波分析和相关性分析等手段进行探讨。

1　材料与方法

1.1　数据来源与处理

海口气象观测站 1988—2012 年的日降水量、平均气温、日最高气温、日最低气温、平均风速、最大风速、平均相对湿度、日照时数等逐日气象资料由中国气象数据网提供。为了消除种植面积波动带来的影响,因此本研究以晚稻单位面积产量为研究对象,晚稻单产的数据来源于海南统计年鉴[19]。

数据异常值剔除遵循以下原则:(1)剔除原始数据中有缺失值的整条气象记录;(2)剔除最大风速小于平均风速的整条气象记录;(3)剔除平均相对湿度小于最小相对湿度的整条气象记录;(4)剔除日最低气温大于日最高气温的整条气象记录;(5)剔除实际观测值大于理论值的整条气象记录。

1.2　分析方法

M – K 突变检验:Mann – Kendall 突变检验法最初由 Mann 和 Kendall 提出,后来又经过多次改进和完善形成了现在的数学模型[20]。M – K 检验现已成为广泛应用在气象研究的非参数检验方法,它不须要样本服从一定的分布,也不受少量异常值的干扰,使用起来十分方便。按照魏凤英研究中的原理利用 MATLAB(Matrix Laboratory,矩阵工厂)得出气象因子的突变时间[21]。

Morlet 复数小波分析:连续小波在时域、频域上具有局部辨识力,可得出不同时间尺度上气象因子周期变化的详细信息[22]。具体步骤按照魏凤英的方法[21]利用 MATLAB 可得。

分离趋势产量和气象产量:由于作物产量不仅受到气象因素的制约,同时还受到品种、政策、技术等诸多方面的影响[23-25]。为了准确探讨气象因素对晚稻产量的影响,因此按照房世波的方法[26]分离得到气象产量。

Pearson 相关性分析和线性趋势分析利用 SPSS 和 Excel 软件计算可得。

2　结果与分析

2.1　晚稻单产变化趋势

由图 1 – a 可知,1988—2012 年海口晚稻实际单产波动幅度较大,呈振荡型上升趋势,年平均增长率为 2.06%,但未通过显著性检验($P > 0.05$)。1995—1996 年、2009—2010 年、2009—2010 年晚稻实际单产减幅较大,分别达 –56.24%、–49.20%、–53.66%,在 2010 年达到最低值,为 1.63 t/hm^2。从 2010 年开始,晚稻实际单产急剧上升,在 2012 年达到这 25 年的最大值,为 4.41 t/hm^2,增幅达 171.05%。图 1 – b 为 1988—2012 年海口晚稻气象产量和趋势产量占实际产量比值。气象产量占实际产量的百分比呈波动变化,有微弱的上升趋势($P > 0.05$)。气象产量在 1996 年、2000 年、2010 年占比较大,且在 2011 年开始气象产量占比有所上升。

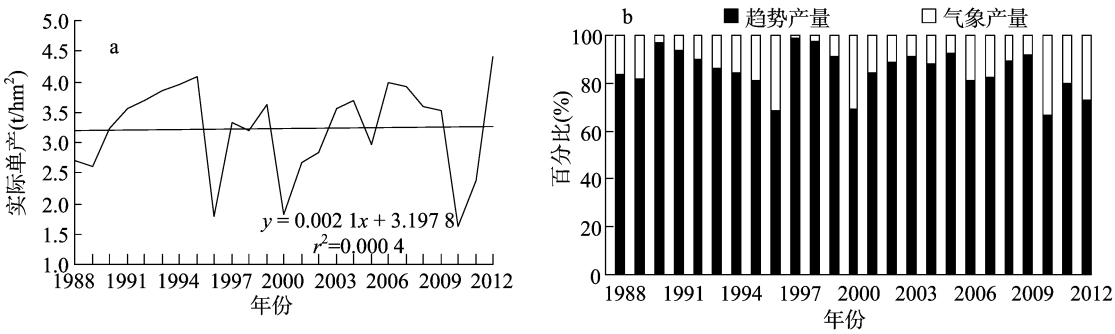


图1　1988—2012 年海口晚稻产量变化情况

在小波分析实部图中,小波系数实部大于 0 表示气象单产偏多,实部小于 0 表示气象单产偏少。由图 2 – a 可知,海口晚稻气象单产主要存在 7 年、10 ~ 11 年 2 个主要周期(在 16 年的时间尺度下图形未封闭,是否为主要周期还须要更长的时间序列验证)。图 2 – b 中小波方差最大峰值对应的周期 $T = 7$,因此 7 年为主周期。5 年以下尺度上,周期振荡较为混乱,没有明显的规律。随着时间尺度的增加,在 7 年的时间尺度下周期振荡较为剧烈,但规律明显,存在着先增后减、偏多 – 偏少的平稳交替循环。10 ~ 11 年的时间尺度下周期变化较为平缓,但没有规律变化。根据主周期的变化规律来看,2012 年气象单产增多的等值线还未闭合,在未来几年海口晚稻气象单产可能会有所增加。

2.2　海口晚稻气象因子变化特征

2.2.1　降水量变化特征　1988—2012 年海口晚稻生育期降水量变化情况如图 3 所示。从图 3 – a 中可以看出,海口晚稻生育期降水量呈波动型上升趋势,气候倾向率为 191.3 mm/10 年,但未通过 $\alpha = 0.05$ 显著性检验。1999 年以前波动幅度较小,1999 年以后波动较为强烈,且周期有所加长。从海口晚稻生育期降水量 M – K 突变检验(图 3 – b)可以看出,图中 ***UF***(统计量序列)和 ***UB***(***UF*** 的逆序列)相交于 2007 年,可以断定突变点在 2007 年。在 1988—2012 年这 25 年中,降水量的上升趋势和下降趋势呈波动型变化,但其变化趋势未通过显著性检验,因此海口晚稻生育期降水量无明显上升或下降。从小波分析实部(图 3 – c)可以看出,海口晚稻生育期降水量在 6 年以下尺度的周期振荡较为混乱,无明显规律;在 11 年左右周期分布均匀,具有明显规律,即降水量增多 – 减少周期交替循环;在 14 年以上尺度的等值线尚未闭合,有待进一步确认其周期性。再根据其小波方差(图 3 – d)的 4 年、11 年 2 个主要峰值可知,海口晚稻生育期降水量主要存在 4 年、11 年 2 个周期,其中 11 年为第 1 主周期。2012 年为降水量偏少

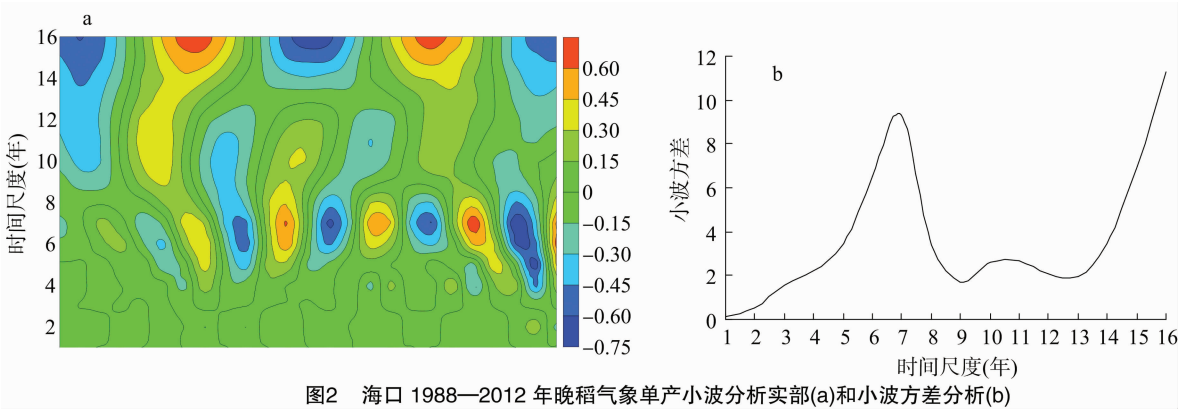


图2　海口 1988—2012 年晚稻气象单产小波分析实部(a)和小波方差分析(b)

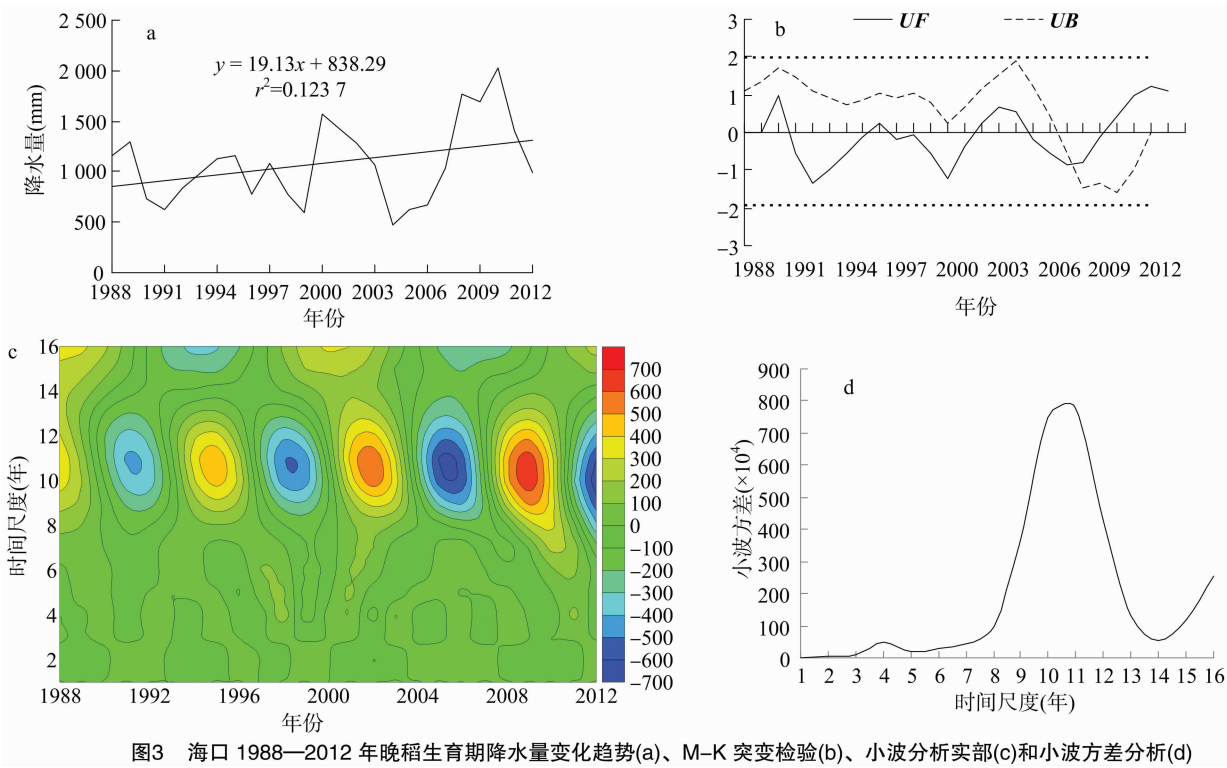


图3　海口 1988—2012 年晚稻生育期降水量变化趋势(a)、M-K 突变检验(b)、小波分析实部(c)和小波方差分析(d)

周期,其等值线尚未闭合,因此可以推断在后面一段时间内降水量会有所下降。

2.2.2　风速变化特征　图 4 为 1988—2012 海口晚稻生育期平均风速变化情况。由图 4 - a 可知,海口晚稻生育期平均风速呈上升趋势,且通过 $\alpha = 0.05$ 水平显著性检验,其气候倾向率为 0.52 m/(s·10 年)。在 2006 年以前,平均风速变化较为平缓,呈小幅波动下降,而在 2007 年平均风速急剧升高,2006—2007 年平均风速增幅达 145.93%,在 2008 年进一步升高,达到这 25 年内的峰值。结合图 4 - b 中 M - K 突变检验可知,1999—2006 年海口晚稻生育期平均风速呈下降趋势,且通过 0.05 的显著性水平($U_{0.05} = \pm 1.96$),UF 和 UB 曲线于 2011 年相交,因此 2011 年为海口晚稻生育期平均风速突变年。由海口晚稻生育期平均风速小波方差(图 4 - c)分析可知,1 ~ 8 年时间尺度的周期振荡剧烈,且无明显规律。8 年以上尺度周期趋于平缓,且规律越明显,在 11 年达到小波方差峰值(图 4 - d),11 年为第 1 主周期。在 11 年左右时,自 1990 年以后平均风速周期性呈较大—较小循环。在 2012 年的平均风速减小等值线未完全闭合,表明海口晚稻生育期平均风速将在一段时间内持续减小。

1988—2012 年海口晚稻生育期最大风速变化情况如图 5 所示。由图 5 - a 可知,海口晚稻生育期最大风速总体上呈显著上升趋势($P = 0.016 < 0.05$),气候倾向率为 0.88 m/(s·10 年)。与平均风速变化情况类似,最大风速在 1988—2006 年呈波动下降,在 2007 年急剧上升,2006—2007 年其增幅达 122.87%。根据 M - K 突变检验(图 5 - b)可知,1999—2006 年海口晚稻生育期最大风速呈下降趋势,并通过 0.05 的显著性水平($U_{0.05} = \pm 1.96$),UF 和 UB 曲线在 2009 年相交,该年即为海口晚稻生育期日最高气温突变年。由海口晚稻生育期最大风速小波分析(图 5 - c)可知,8 年以下尺度周期振荡混乱,没有表现出明显规律。随着时间尺度的增加,8 ~ 13 年周期振荡变得较为平缓,可以看出较大 - 较小交替循环规律,到 2012 年最大风速减小的等值线未闭合,因此可以推断出最大风速减小的趋势还会持续一段时间。结合图 5 - d 可以看出,小波方差在 6 年和 11 年 2 个时间尺度存在峰值,与平均风速

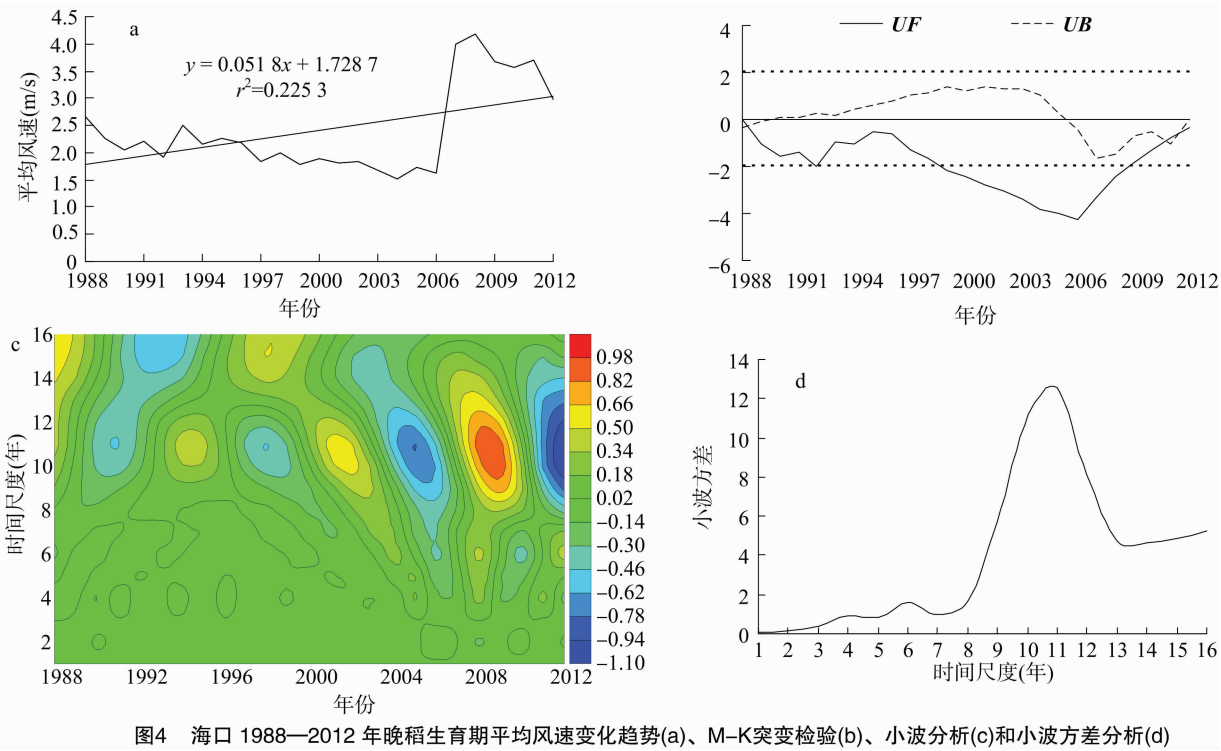


图4　海口 1988—2012 年晚稻生育期平均风速变化趋势(a)、M-K突变检验(b)、小波分析(c)和小波方差分析(d)

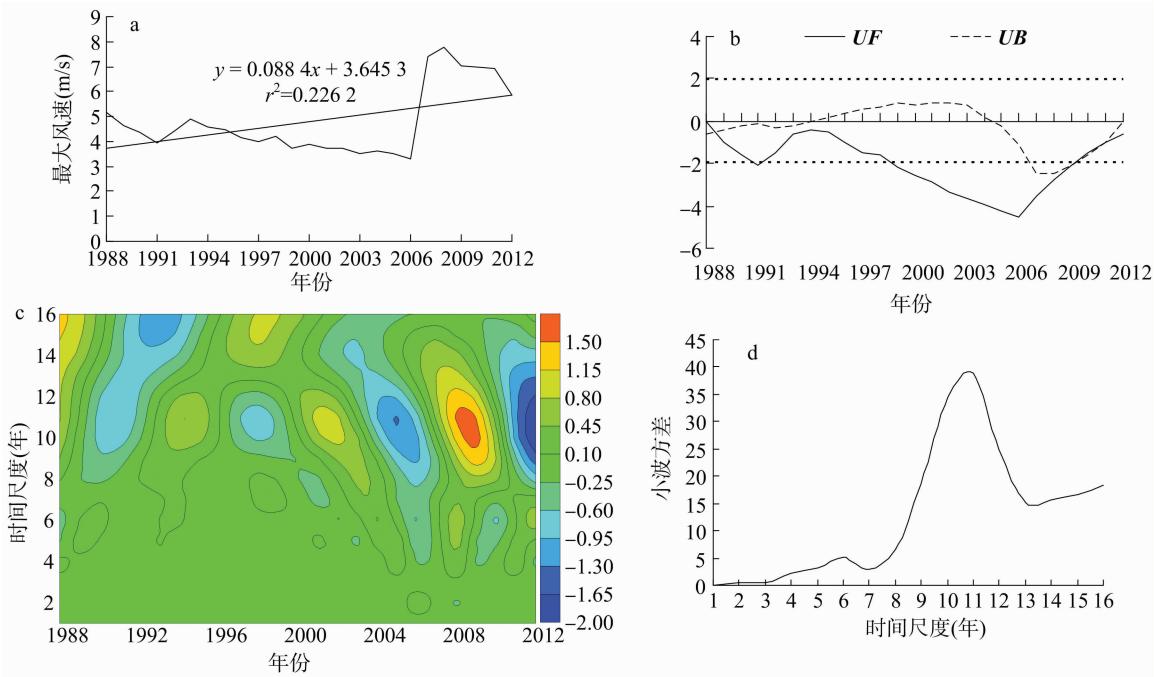


图5　海口 1988—2012 年晚稻生育期最大风速变化趋势(a)、M-K突变检验(b)、小波分析(c)和小波方差分析(d)

类似,11 年为规律明显的第 1 主周期,但在 14 年以上尺度周期规律又趋于不明显的状态。

2.2.3　气温变化特征　图 6 为 1988—2012 年海口晚稻生育期平均气温变化情况。由图 6 - a 可知,平均气温呈波动上升趋势,且已通过 $\alpha = 0.05$ 水平显著性检验,其气候倾向率为 0.09 ℃/10 年。结合 M - K 突变检验(图 6 - b)可以看出,海口晚稻生育期平均气温 2003—2007 年呈上升趋势,但未通过 0.05 的显著性水平($U_{0.05} = \pm 1.96$),而后表现为下降趋势,UF 和 UB 曲线于 2008 年相交,因此可以确定 2008 年为海口晚稻生育期平均气温的突变年份。由小波分析结果(图 6 - c)和小波方差分析(图 6 - d)可知,海口晚稻生育期平均气温在 10 年以下尺度并无周期变化,仅在 11 ~ 16 年时表现出了周期性,且其规律明显,呈现较高 - 较低交替循环。图中出现了 2012 年平均气温升高的部分等值线,因此在未来一段时间平均气温有可能持续升高。

1988—2012年海口晚稻生育期日最高气温变化情况如

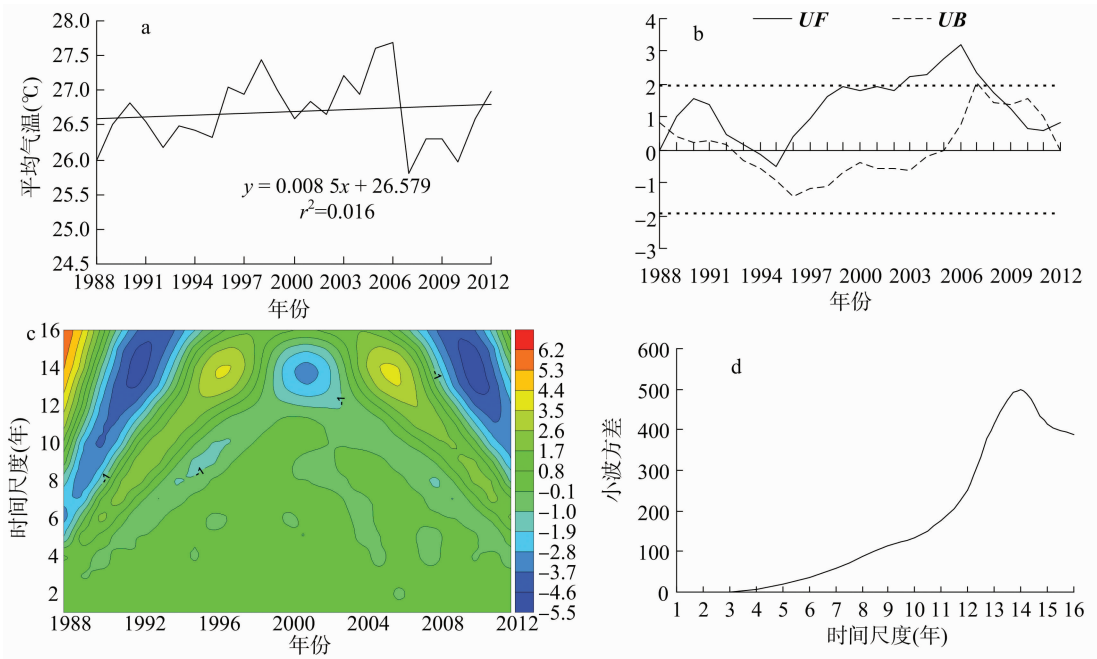


图6　海口 1988—2012 年晚稻生育期平均气温变化趋势(a)、M–K突变检验(b)、小波分析(c)和小波方差分析(d)

图 7 所示。由图 7 – a 可以看出,海口晚稻生育期日最高气温呈波动上升趋势,气候倾向率为 0.15 ℃/10 年。在 1995—2007 年间日最高气温波动较为剧烈,但总体上无明显变化,即未通过 $\alpha = 0.05$ 水平显著性检验。根据 M – K 突变检验(图 7 – b)可知,海口晚稻生育期日最高气温在 1998—1999 年和 2006 年有升高趋势,并通过 0.05 的显著性水平($U_{0.05} = \pm 1.96$),UF 和 UB 曲线在 2009 年相交,该年即为海口晚稻生育期日最高气温突变年。日最高气温的小波分析(图 7 – c)和小波方差分析(图 7 – d)结果和平均气温分析结果类似,海口晚稻生育期日最高气温在 10 年以下尺度并无周期变化,在 14 年前后表现出了平稳的周期性,呈较高 – 较低交替循环。由于 2012 年日最高气温升高的等值线未闭合,未来海口晚稻生育期日最高气温有可能升高。

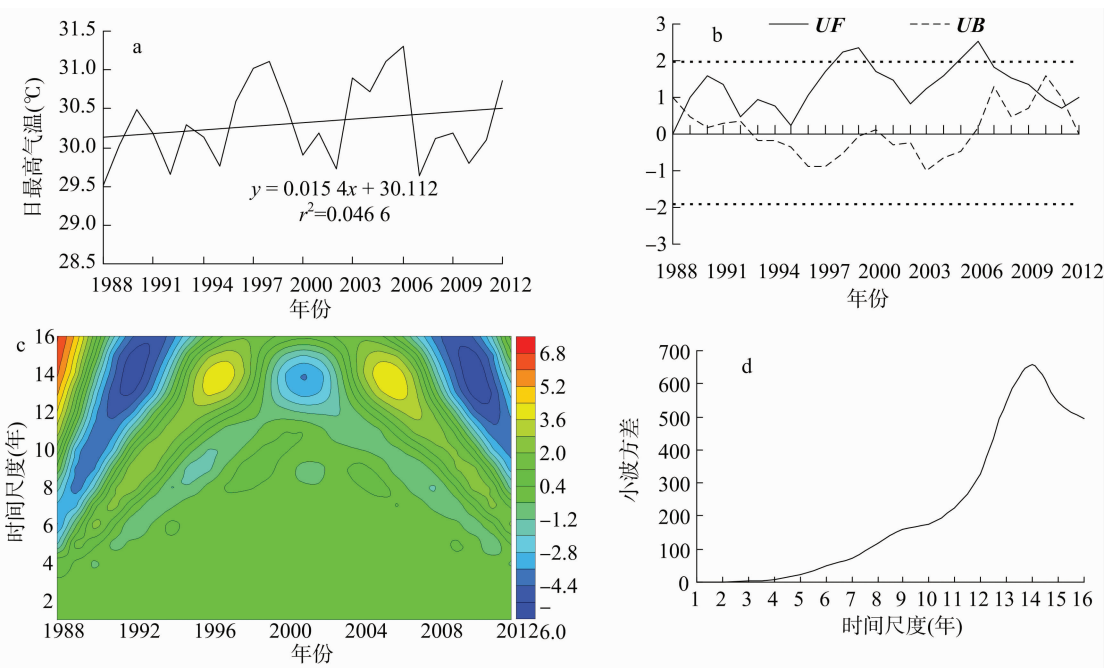


图7　海口 1988—2012 年晚稻生育期日最高气温变化趋势(a)、M–K突变检验(b)、小波分析(c)和小波方差分析(d)

图 8 为 1988—2012 年海口晚稻生育期日最低气温变化情况。由图 8 – a 可知,海口晚稻生育期日最低气温在 25 年内波动较为剧烈,整体上呈上升趋势,气候倾向率为 0.13 ℃/10 年,但未通过 $\alpha = 0.05$ 水平显著性检验。由突变检验(图 8 – b)可知,海口晚稻生育期日最低气温在 1998—2008 年呈上升趋势,且通过 0.05 的显著性水平($U_{0.05} = \pm 1.96$),而后表现为下降趋势,UF 和 UB 曲线于 2009 年相交,因此可以确定 2009 年为海口晚稻生育期日最低气温的突变年份。

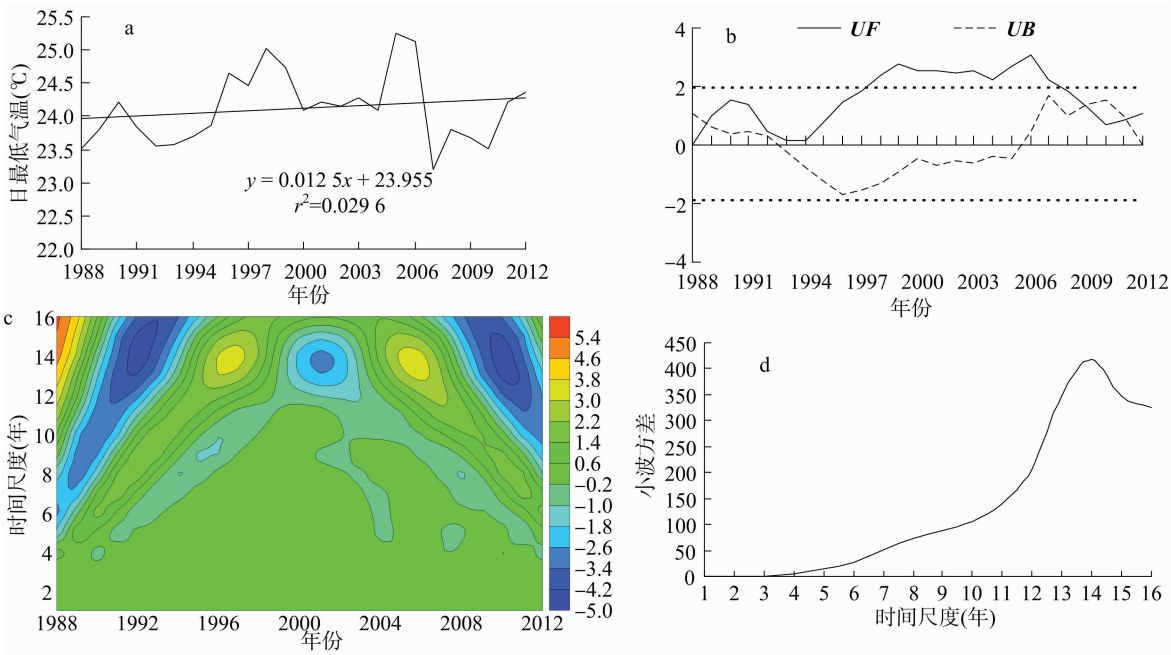


图8　海口 1988—2012 年晚稻生育期日最低气温变化趋势(a)、M-K突变检验(b)、小波分析(c)和小波方差分析(d)

海口晚稻生育期日最低气温小波分析和方差分析分别如图 7－c、图 7－d 所示，仅在 14 年左右具有规律明显的周期，表现为较高－较低交替循环。日最低气温与平均气温、日最高气温情况类似，海口晚稻生育期日最低气温在 2012 年的气温升高等值线尚未闭合，因此可以推断出在未来一段时间内海口晚稻生育期日最低气温升高的概率较大。

2.2.4　相对湿度变化特征　1988—2012 年海口晚稻生育期平均相对湿度变化情况如图 9 所示。由图 9－a 可知，1988—2012 年平均相对湿度波动较为剧烈，有明显的下降趋势，其显著性通过 $\alpha=0.05$ 水平检验，气候倾向率为 1.41%/10 年。根据 M－K 突变检验(图 9－b)可知，在 2006—2012 年间，平均相对湿度呈下降趋势，且通过 0.05 的显著性水平($U_{0.05}=\pm1.96$)。UF 和 UB 曲线相交于 2001 年，因此可以确定 2001 年为海口晚稻生育期平均相对湿度的突变年份。小波分析(图 9－c)结果表明，整体上周期振荡较为平缓，11 年以下尺度没有体现出明显的周期性，11 年以上尺度逐渐表现出了稳定的周期性，规律变得较为明显。结合小波方差分析(图 9－d)可知，峰值出现在 14 年，14 年即平均相对湿度小波分析的主周期。在 14 年尺度上，平均相对湿度表现出了明显的规律性，偏高－偏低交替循环。2012 年平均相对湿度偏高的等值线仅有部分出现，在未来一段时间内平均相对湿度有可能出现持续升高的情况。

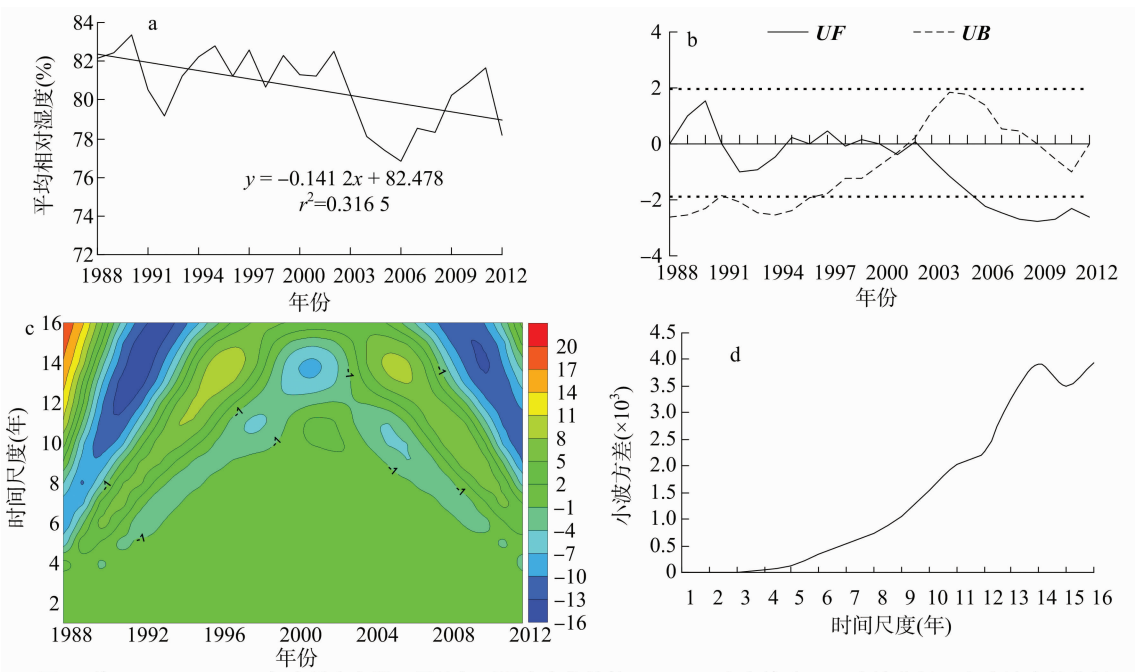


图9　海口 1988—2012 年晚稻生育期日平均相对湿度变化趋势(a)、M-K突变检验(b)、小波分析(c)和小波方差分析(d)

2.2.5　日照时数变化特征　1988—2012 海口晚稻生育期日照时数变化情况如图 10 所示。由图 10－a 可知，日照时数呈波动下降趋势，且通过 $\alpha=0.05$ 水平显著性检验，其气候倾向率为 66.06 h/10 年。结合图 10－b 中 M－K 突变检验可知，1996—2012 年海口晚稻生育期日照时数呈下降趋势，且通过 0.05 的显著性水平（$U_{0.05}=\pm1.96$）。UF 和 UB 曲线于 1993 年相交，说明 1993 年为海口晚稻生育期日照时数突变年。由日照时数小波方差（图 10－c）分析结果可知，6 年以下时间尺度的周期振荡剧烈，且无明显规律。时间尺度越大，周期振荡越趋于平缓，且规律越明显。结合小波方差分析（图 10－d）可知，在 9 年和 14 年尺度上出现 2 个主要周期，其中 14 年为第 1 主周期。在 9 年的时间尺度上周期振荡呈现出明显的规律，即偏短－偏长循环交替。在 14 年的时间尺度上，周期振荡的规律更为明显，同样为偏短－偏长循环交替。在 2012 年，第 1 主周期的日照时数偏长的等值线开始出现，表明海口晚稻生育期日照时数将在一段时间内持续增长。

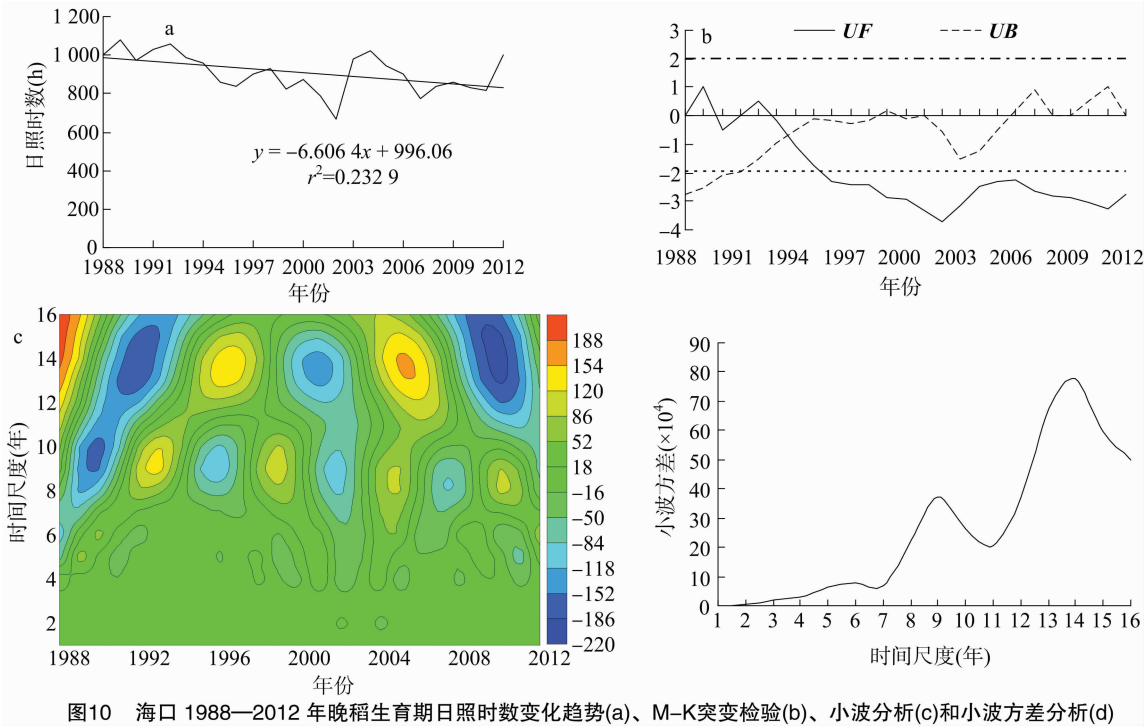


图10　海口 1988—2012 年晚稻生育期日照时数变化趋势(a)、M-K突变检验(b)、小波分析(c)和小波方差分析(d)

2.3　晚稻产量与生育期气象因子相关性分析

由于水稻不同生长阶段对气象因子的敏感性不同，不同品种的水稻生育期划分也略有偏差，因此本研究以旬的时间尺度探究海口晚稻生育期气象因子对晚稻气象产量的影响。表 1 为晚稻气象因子与晚稻气象产量的相关系数。

从表 1 可以看出，海口晚稻气象产量分别与 10 月上旬的降水量、平均相对湿度、日照时数显著相关。其中，晚稻气象产量与 10 月上旬降水量、平均相对湿度与呈负相关，与日照时数呈正相关。从相关系数大小可以看出，对海口晚稻产量影响最大的气象因子是平均相对湿度，相关系数为 －0.52。虽然其他气象因子对晚稻的影响未通过显著性检验，但从整个生育期来看，平均相对湿度大部分时间都对晚稻产量产生了消极影响。

3　结论

在全球气候变化背景下，1988—2012 年海口晚稻单产呈微弱上升趋势，同时气象因子对晚稻产量的影响也在逐步加大。M－K 趋势分析表明，晚稻生育期内最大风速和平均风速均呈显著上升趋势，并在 2012 年之后一段时间内有下降趋势；平均相对湿度和日照时数为显著下降趋势，并在未来一段时间有较大概率升高。其他气象因子无显著变化趋势。

小波分析总体上在小尺度表现出周期振荡剧烈，随着时间尺度的增加，周期振荡越来越平稳，并表现出明显的规律性。日照时数的小波分析和小波方差分析在多个时间尺度表现出了稳定周期变化，且均为偏长－偏短交替循环。

根据海口晚稻气象产量与生育期气象因子的相关性分析结果可以看出，气象因子对晚稻产量的影响主要集中在 10 月，以平均相对湿度的影响为主，且为负相关。由于平均相对湿度整体上呈下降趋势，因此未来相对湿度可能不再成为晚稻产量的主要限制因子。

4　讨论

由于本研究主要在晚稻生育期的时间尺度上探讨海口气象因子变化，因此与许格希等的研究结果[10－11]不同，降水量和平均气温并未表现出明显变化趋势。

10 月上旬降水量、平均相对湿度成为晚稻产量的主要限制因子，而日照时数对晚稻有增产作用，其主要原因在于水稻生育期降水量的增多必然导致平均相对湿度的升高，同时阴雨天和日照时数互为竞争因子，降水量增加使得日照时数减少。水稻喜热喜湿，日照时数的减少还将影响气温，进而影响水稻的光合作用，产量从而受到影响。因此，海口晚稻的种植应注意 10 月的气象变化，做好防汛排涝和高温高湿天气的防虫害工作。

海口晚稻气象产量、生育期降水量、平均风速和最大风速

表 1　晚稻气象产量与逐日气象因子的相关系数

时间		相关系数							
		降水量	平均风速	最大风速	平均气温	日最高气温	日最低气温	平均相对湿度	日照时数
7 月	上旬	0.11	0.11	0.16	-0.34	-0.17	-0.32	0.19	-0.25
	中旬	-0.35	-0.09	-0.01	0.21	0.29	0.15	-0.28	0.33
	下旬	0.27	-0.24	-0.12	-0.06	0.01	-0.09	-0.05	-0.08
8 月	上旬	0.07	0.31	0.13	0.00	-0.05	0.03	-0.10	0.01
	中旬	-0.12	0.12	-0.05	0.03	-0.11	0.11	-0.18	-0.15
	下旬	-0.12	0.03	-0.05	0.00	-0.12	0.18	-0.20	-0.13
9 月	上旬	0.11	0.15	0.13	-0.21	-0.14	-0.19	0.12	0.02
	中旬	0.11	0.04	-0.02	0.02	0.02	0.04	-0.12	-0.08
	下旬	-0.11	0.05	-0.01	0.08	0.01	-0.02	-0.28	0.21
10 月	上旬	-0.44*	-0.11	-0.12	0.05	0.19	-0.20	-0.52**	0.41*
	中旬	-0.26	-0.12	-0.07	-0.09	0.18	-0.37	-0.31	0.26
	下旬	-0.11	0.03	0.09	0.13	0.21	-0.02	-0.19	0.15
11 月	上旬	-0.33	-0.05	-0.02	0.09	0.21	-0.01	-0.07	0.12
	中旬	-0.01	-0.08	0.07	0.30	0.42	0.18	0.08	0.37
	下旬	0.13	0.01	0.04	0.07	0.16	-0.03	-0.10	0.05

注：“*、**”分别表示在 0.05、0.01 水平上显著相关。

在更大时间尺度是否表现出稳定周期还须要更长时间序列的验证。

参考文献：

[1]Zhang Z,Song X,Tao F,et al. Climate trends and crop production in China at county scale,1980 to 2008[J]. Theoretical & Applied Climatology,2016,123(1/2):291-302.

[2]IPCC. Contribution of working group Ⅱ to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate Change[M]. Cambridge:Cambridge University Press,2007:7-22.

[3]Piao S,Ciais P,Huang Y,et al. The impacts of climate change on water resources and agriculture in China[J]. Nature,2010,467(7311):43-51.

[4]Welch J R,Vincent J R,Auffhammer M,et al. Rice yields in tropical/subtropical Asia exhibit large but opposing sensitivities to minimum and maximum temperatures[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences,2010,107(33):14562-14567.

[5]朱德峰,程式华,张玉屏,等. 全球水稻生产现状与制约因素分析[J]. 中国农业科学,2010,43(3):474-479.

[6]王　华,陈新光,胡　飞,等. 气候变化背景下广东晚稻播期的适应性调整[J]. 生态学报,2011,31(15):4261-4269.

[7]林而达,许吟隆,蒋金荷,等. 气候变化国家评估报告(Ⅱ):气候变化的影响与适应[J]. 气候变化研究进展,2006,2(2):51-56.

[8]李明志,袁嘉祖,李建军. 中国气候变化现状及前景分析[J]. 北京林业大学学报(社会科学版),2003,2(2):16-20.

[9]Tao F,Zhang Z,Shi W,et al. Single rice growth period was prolonged by cultivars shifts,but yield was damaged by climate change during 1981—2009 in China,and late rice was just opposite[J]. Global Change Biology,2013,19(10):3200-3209.

[10]许格希,郭泉水,牛树奎,等. 近50年来海南岛不同气候区气候变化特征研究[J]. 自然资源学报,2013,28(5):799-810.

[11]李福胜,张　仲. 海口市1951—2010年降水的多时间尺度分析[J]. 广东气象,2013,35(3):40-44.

[12]侯　伟,马明明,胡德强,等. 海口市近60年气候变化研究[J]. 热带作物学报,2016,37(10):2020-2027.

[13]吴文娟,王　刚,黄丕新,等. 近50年海口市降水量与蒸发量变化[J]. 气象研究与应用,2009,30(1):19-22.

[14]吴名杰,陈小敏. 近50年海口市日照时数气候变化特征分析[J]. 热带农业科学,2014,34(1):94-97.

[15]刘胜利,薛建福,张　冉,等. 气候变化背景下湖南省双季稻生产的敏感性分析[J]. 农业工程学报,2015,31(6):246-252.

[16]张育慧,蔡　敏,舒素芳,等. 金华市近30年气象要素变化对晚稻单产的影响[J]. 浙江农业学报,2014,26(5):1319-1323.

[17]曾海云. 桂平市晚稻生育期农业气象分析[J]. 广西农业科学,2010,41(5):505-507.

[18]季彪俊,杨世湖. 早晚稻产量影响因子分析[J]. 吉林农业大学学报,2005,27(2):131-136.

[19]沈陈华. 气象因子对江苏省水稻单产的影响[J]. 生态学报,2015,35(12):4155-4167.

[20]符淙斌,王　强. 气象突变的定义和检测方法[J]. 大气科学,1992,16(4):482-493.

[21]魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 北京:气象出版社,2007:99-104.

[22]张　健,李同昇,张俊辉,等. 1933—2012年无定河径流突变与周期特征诊断[J]. 地理科学,2016,36(3):475-480.

[23]李香颜,张金平. 气候变化对河南省大豆产量的影响分析[J]. 江苏农业科学,2017,45(4):55-58.

[24]刘红杰,倪永静,陈玉霞,等. 播期和播量对冬小麦国麦301农艺性状及产量的影响[J]. 江苏农业科学,2017,45(14):49-53.

[25]朱　凯,张　飞,柯福来,等. 2个适合机械化种植的高粱品种产量、光合特性及密植潜力比较[J]. 江苏农业科学,2017,45(16):73-75.

[26]房世波. 分离趋势产量和气候产量的方法探讨[J]. 自然灾害学报,2011,20(6):13-18.