

# 十堰市气温变化对中稻生长期及产量的影响

朱明 廖小华 夏金

(湖北省十堰市气象局, 十堰 442000)

**摘要:** 利用1961—2010年十堰市7个气象站的气温资料和1991—2010年所辖3个农气站中稻生长期观测资料, 分析了气温变化与中稻生长期年代际和年际相关关系。结果表明: 十堰市平均气温自20世纪80年代中期以来呈上升趋势, 进入90年代以后, 这种趋势进一步加快; 中稻生长季内4—5月变暖趋势最为显著, 平均温度、最高温度和最低温度均显著上升, 4—9月最低温度的上升趋势也较显著, 其他时段变暖趋势不明显。4—5月温度的显著升高使移栽日期显著提前, 播种—移栽期长度呈显著缩短的趋势, 移栽—抽穗期则为延长的趋势, 有利于大穗的形成和产量的提高。中稻单位产量与8—9月的平均温度和最高温度都呈显著正相关关系, 平均温度和最高温度愈高, 中稻单位产量就愈高。

**关键词:** 气温变化, 中稻, 生长期, 产量

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2015.04.008

## Effect of Temperature Changes on Semilate Rice Growing Period and Yield in Shiyan

Zhu Ming, Liao Xiaohua, Xia Jin

(Meteorological Bureau of Shiyan City of Hubei Province, Shiyan 442000)

**Abstract:** Based on temperature data from 1961 to 2010 of 7 meteorological stations and semilate rice phenological data from 1991 to 2010 of 3 agrometeorological experimental stations in Shiyan, the interannual and interdecadal correlations were investigated between temperature changes and rice growth stage in Shiyan area. The results show that the annual average temperature increased from the mid-1980s, and this trend was accelerated after the 1990s. Temperature increased significantly from April to May during the rice growing season, resulting in rice transplanting date advancing. From April to September, the upward trend of minimum temperature is also significant, but in other months warming trend was not obvious. Sowing to transplanting period length showed a significant shortening, while transplanting to heading showed an extension of the trend, which benefited the formation for large spike and yield improvement. Rice yield per unit area with the average and maximum August-September temperatures showed significant positive correlation.

**Keywords:** temperature changes, semilate rice, growth period, yield

### 0 引言

气候变暖对环境及社会经济发展的影响日益被社会广泛关注<sup>[1-4]</sup>。IPCC指出近百年来, 全球平均气温升高0.74℃, 且近50年升温率是过去100年的2倍<sup>[5]</sup>。杜学椿等<sup>[6]</sup>指出中国年平均气温以0.04℃/10a的倾向率上升, 冬季为正的倾向率, 夏季为负的倾向率。朱明等<sup>[7]</sup>发现十堰气候变化也遵循这一规律。气候变化对农业生产的影响是显著的<sup>[8-9]</sup>, 有研究<sup>[10-13]</sup>指出受这种变化影响, 我国水稻将面临减产趋势。中稻是十堰地区主要粮食作物之一, 研究当地气候变化对中稻不同生长期的影响, 对于最大限度地利用气候资源具有十分重要的意义, 也可以为当地农业发展及农业产业结

构调整提供科学论据。

### 1 资料和方法

所使用资料包括十堰市7个气象站50年(1961—2010年)逐日的平均气温、平均最高气温、平均最低气温和所辖房县、郧西、竹溪3个农气站中稻20年(1991—2010年)的观测资料。农气观测资料主要是中稻播种、移栽、抽穗、扬花和成熟日期; 中稻产量(1980—2010年)来源于十堰市农业局。

十堰地区中稻主要生长期集中于4—9月, 为分析不同时期气温变化对中稻生长期的影响, 将中稻生长期划分为4—5月、6—7月和8—9月三个时段。

利用回归分析方法首先分析中稻各生长时段气温的变化趋势, 以及中稻各生长期和生长期天数的变化趋势; 再利用相关分析等方法分析中稻生长期变化与生长季不同时段气温变化的相关关系, 揭示气温变化

收稿日期: 2015年1月4日; 修回日期: 2015年5月4日

第一作者: 朱明(1959—), Email: syzhuming01@163.com

资助信息: 湖北省气象局科技发展基金(2014Y03)

对中稻生长期的影响。

## 2 结果与分析

从1961—2010年十堰市年平均气温变化曲线图(图1)可以看出,20世纪60—80年代中期,年平均气温呈逐渐下降的趋势,在1984年达到最低点;之后逐渐呈现上升的趋势,特别是进入20世纪90年代以来,气温上升的速度有所加快。1984年以后有3次波动,分别在1988年、1990年、1998年达到波峰,在1989年、1993年、1996年出现波谷,1998年创下了50年来的最高值。因此,20世纪80年代中期是十堰市年平均气温由下降趋势转为上升趋势的一个拐点,与全国大部地区气温变化趋势基本一致<sup>[14]</sup>。

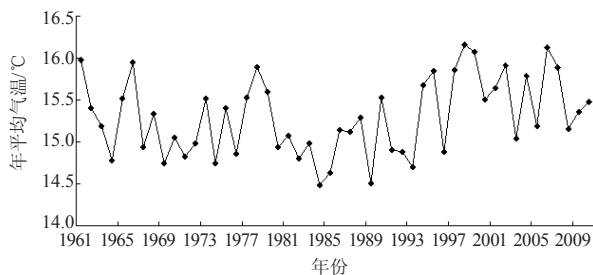


图1 1961—2010年全市年平均气温变化曲线

### 2.1 中稻生长期气温变化分析

根据图1所示的1961—2010年十堰地区气温变化明显的阶段性特征,以1981年为界,分析1981年前、后两个时期中稻生长季温度的变化趋势(表1)。由表1可知,近50年各时段的日最低温度均为升高趋势,其中4—5月的变化最显著,气候倾向率为 $0.19^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ ,并由此引起中稻整个生长季(4—9月)的日最低气温

上升,气候倾向率为 $0.13^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ ;4—5月日平均气温上升趋势显著,气候倾向率达到 $0.22^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ ;同时,4—5月的日最高气温也表现出显著的升高趋势,其他时段最高温度和平均温度的变化趋势不显著。

表1 1961—2010年十堰市不同时段中稻生长期温度变化的气候倾向率( $^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ )

时间	时段	平均温度	最高温度	最低温度
1961—2010年	4—5月	0.22**	0.44**	0.19**
	6—7月	-0.14	-0.14	0.08
	8—9月	-0.09	-0.08	0.09
1961—1980年	4—9月	-0.01	0.08	0.13**
	4—5月	0.18	0.52	0.02
	6—7月	-0.70**	-0.94**	-0.30
1981—2010年	8—9月	-0.06	-0.12	0.13
	4—9月	-0.19	-0.17	-0.01
	4—5月	0.22	0.45	0.21
1981—2010年	6—7月	0.32	0.50*	0.33*
	8—9月	0.04	0.12	0.16
	4—9月	0.20	0.37*	0.24**

注: \*,  $p < 0.05$ ; \*\*,  $p < 0.01$ 。下同。

不过,1961—1980年间,6—7月、8—9月的平均温度、最高温度均呈现下降趋势(4—5月相反),其中6—7月平均温度、最高温度下降趋势最为显著,气候倾向率分别为 $-0.70^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 和 $-0.94^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ ,也因此导致4—9月中稻生长季平均温度和最高温度的下降。与1961—1980年间的变化趋势相反,1981—2010年间各时段平均温度、最高温度和最低温度均呈现上升趋势,且以6—7月温度上升趋势最为显著。

### 2.2 中稻生长期年际变化特征

图2显示了1991—2010年十堰地区中稻各生长期的变化趋势。从图2b可以看出,水稻移栽日期显著提

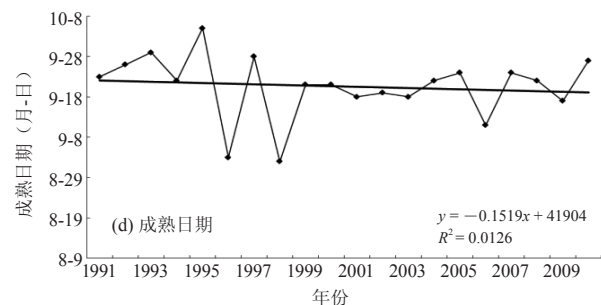
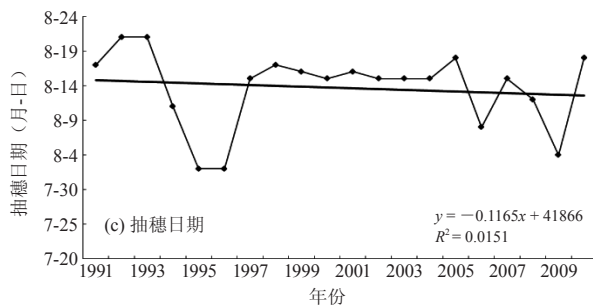
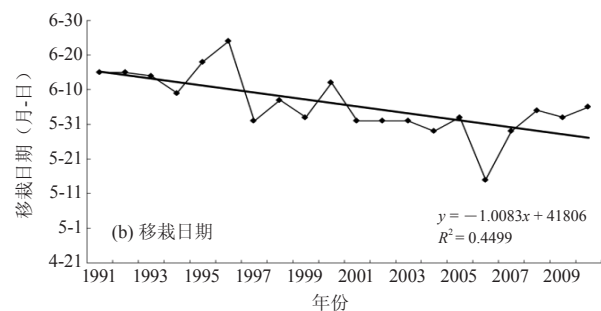
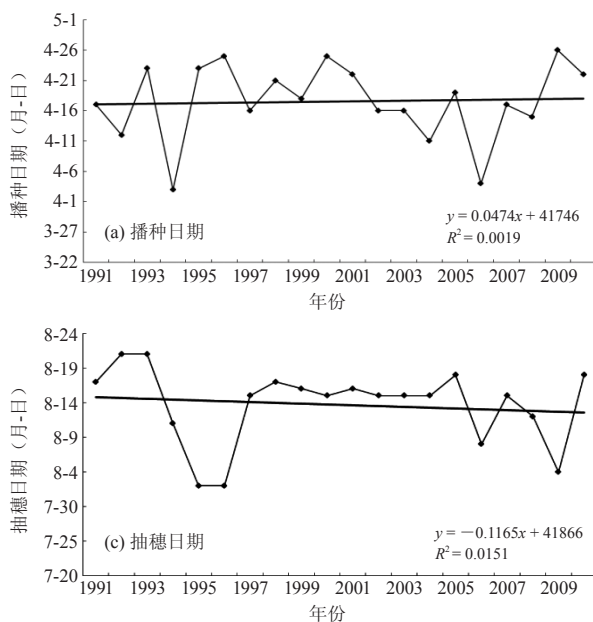


图2 1991—2010年十堰地区中稻各生育期的变化趋势

前, 气候倾向率达到了10d/10a。20年平均移栽日期为6月5日, 前十年的平均移栽日期为6月13日, 后十年平均移栽日期为5月28日, 最早移栽日期为2006年的5月15日, 最迟为1996年的6月24日。相比, 播种日期、抽穗日期和成熟日期的变化不显著。

图3为中稻播种—移栽、移栽—抽穗和抽穗—成熟期长度的变化趋势。从图3a看出, 十堰地区中稻播种—移栽期长度呈现显著缩短的趋势, 倾向率达11d/10a; 从图3b可以发现移栽—抽穗期则为延长的趋势, 倾向率达8.9d/10a; 图3c显示抽穗—成熟期的变化不显著, 其中1998—2010抽穗—成熟期呈延长的趋势, 这与近10多年来8—9月连阴雨天气增多导致日照时数减少关系密切<sup>[15-16]</sup>。

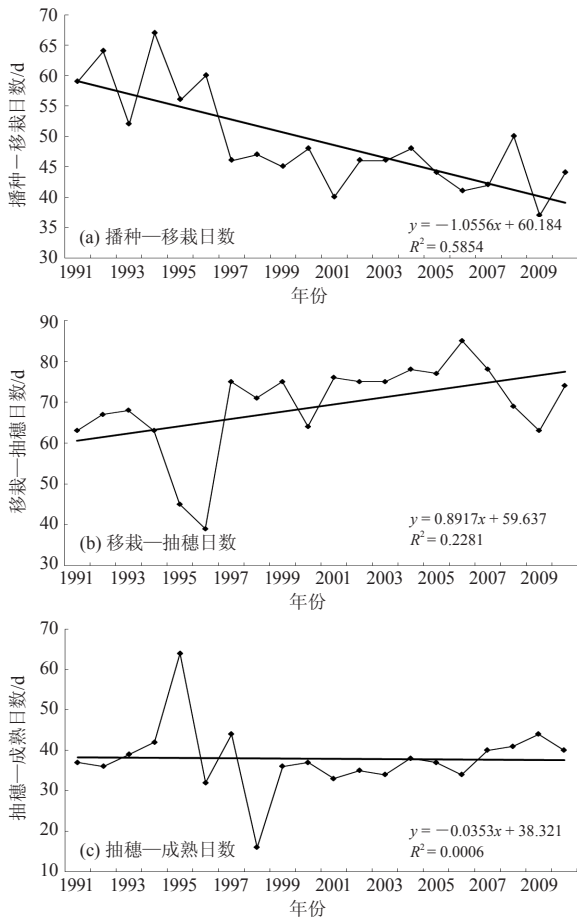


图3 1991—2010年十堰地区中稻各生长期长度变化趋势

### 2.3 气温变化对十堰地区中稻各生长期的影响

表2为十堰中稻播种、移栽、抽穗和成熟日期与不同阶段温度的相关分析结果。可以看出, 中稻播种日期与各时段的平均温度、最高温度、最低温度无明显的相关关系。移栽日期与4—5月整个时段的平均温度、最高温度、最低温度呈显著负相关, 其中与最低温度相关系数达-0.53。4—5月平均温度、最高温

度、最低温度每升高1℃, 可造成移栽日期分别提前3.1d、2.0d和3.2d, 可见最低温度对移栽日期的影响相对大一些, 说明最低温度越高, 中稻生长越快, 导致移栽日期提前。抽穗日期与4—5月最高温度、最低温度相关不显著, 但与平均温度呈负相关, 与6—7月温度要素具有显著负相关关系, 与8—9月温度要素相关性不显著, 可见, 6—7月的温度变化对抽穗日期影响较大。成熟日期与4—5月以及4—9月的最高温度相关性显著, 与最低温度和平均温度均无显著的相关关系。

表2 十堰地区中稻生育日期与不同阶段温度的相关系数

中稻生育期	时段	平均温度	最高温度	最低温度
播种日期	4—5月	-0.25	-0.27	-0.23
	6—7月	-0.04	-0.23	-0.04
	8—9月	-0.12	-0.22	-0.03
移栽日期	4—9月	-0.23	-0.41	-0.06
	4—5月	-0.51*	-0.46*	-0.53*
	6—7月	-0.23	-0.25	-0.22
	8—9月	-0.05	-0.14	-0.06
抽穗日期	4—9月	-0.44*	-0.46*	-0.32
	4—5月	-0.48*	-0.34	-0.19
	6—7月	-0.47*	-0.46*	-0.46*
	8—9月	-0.02	-0.07	-0.03
成熟日期	4—9月	-0.45*	-0.48*	-0.32
	4—5月	-0.07	-0.45*	-0.05
	6—7月	-0.16	-0.15	-0.22
	8—9月	-0.04	-0.04	-0.14
	4—9月	-0.05	-0.54*	-0.13

然而, 播种、移栽、抽穗和成熟日期与不同阶段温度间的负相关关系并不一定能够说明它们之间的年际变化关系, 因为在计算相关系数时包含了年代际趋势。

为此, 在计算相关系数时采用年际变率的方法去除趋势项<sup>[17]</sup>, 即将原序列求年际变率, 得到年际变率的时间序列, 再求年际变率序列的相关系数(表3), 计算内容和表2相同。表3只列出相关系数通过置信水平为90%和95%检验的时段。可以看到, 年际变化的相关系数大部分比较小, 只有少数通过了显著性检验, 其中移栽日期年际变率与4—5月的最低温度年际变率呈显著负相关, 相关系数达-0.46。因此, 移栽日期与4—5月的最低温度在年代际和年际变化趋势上都有密切关系。

表3 十堰地区中稻生育日期年际变率与不同阶段温度年际变率的相关系数

中稻生育期	时段	平均温度	最高温度	最低温度
移栽日期	4—5月	-0.34	-0.32	-0.46*
	4—9月	-0.30	-0.44*	-0.11
抽穗日期	6—7月	-0.29	-0.38※	-0.08
成熟日期	4—9月	-0.26	-0.40※	-0.10

注: ※,  $p < 0.10$ 。下同。

从表4可见, 播种—移栽期日数与4—5月的平

均温度、最高温度和最低温度呈负相关关系, 平均温度、最高温度、最低温度每升高1℃分别导致中稻苗期日数缩短2.2d、2.1d、2.0d, 其中平均温度对播种—移栽日期天数影响最大。移栽—抽穗期长度与4—5月最低温度呈显著正相关, 相关系数为0.46, 由此可见, 4—5月温度升高使移栽期提前的程度要大于抽穗期提前的程度。抽穗—成熟期长度主要受8—9月的最高温度影响, 8—9月最高温度每升高1℃, 抽穗—成熟期缩短1.7d。

表4 十堰地区中稻生育期长度与不同时段温度变化的相关系数

中稻生育期	时段	平均温度	最高温度	最低温度
播种—移栽	4—5月	-0.48*	-0.46*	-0.47*
	6—7月	-0.14	-0.11	-0.04
	8—9月	-0.02	-0.08	-0.15
	4—9月	-0.32	-0.25	-0.23
移栽—抽穗	4—5月	0.21	0.17	0.46*
	6—7月	-0.03	-0.06	-0.07
	8—9月	0.05	0.13	-0.06
	4—9月	0.16	0.12	0.10
抽穗—成熟	4—5月	0.04	-0.03	-0.02
	6—7月	0.17	0.18	0.18
	8—9月	-0.21	-0.45*	0.06
	4—9月	0.01	-0.10	0.16

同理, 针对表4各变量, 计算年际变率序列之间的相关系数(见表5, 只列出相关系数通过置信水平为90%和95%检验的时段), 可以发现, 年际变率的相关系数没有通过置信水平为95%的检验, 只有少数通过了置信水平为90%的检验, 其中播种—移栽期长度年际变率与平均温度、最高温度和最低温度年际变率呈负相关关系, 移栽—抽穗期长度年际变率与4—5月最低温度年际变率呈正相关, 抽穗—成熟期长度主要受8—9月的最高温度影响。因此, 播种—移栽期长度、移栽—抽穗期长度与4—5月的最低温度在年代际和年际变化趋势上都有密切关系, 抽穗—成熟期长度与8—9月的最高温度在年代际和年际变化趋势上都有密切关系。

表5 十堰地区中稻生育期长度年际变率与不同时段温度年际变率的相关系数

中稻生育期	时段	平均温度	最高温度	最低温度
播种—移栽	4—5月	-0.41※	-0.38※	-0.39※
移栽—抽穗	4—5月	0.15	0.11	0.38※
抽穗—成熟	8—9月	-0.16	-0.38※	-0.11

移栽日期提前, 有利于中稻早生快发, 为后期生长发育提供时间上的主动, 移栽—抽穗期延长可相应

延长中稻抽穗分化时间, 充分利用光、热、水资源, 有利于大穗的形成和产量的提高。

## 2.4 不同时期温度对中稻单产量的影响

1980—1990年间中稻单位产量与4—5月的最高温度呈负相关关系, 与8—9月的平均温度和最高温度都呈显著正相关关系。8—9月为中稻的成熟期, 因此, 温度的升高会增加单位产量, 即8—9月平均温度和最高温度愈高, 中稻单位产量就愈高, 平均温度和最高温度每升高1℃, 单位产量会分别增加0.045kg/m<sup>2</sup>、0.043kg/m<sup>2</sup>。

在年际变率方面, 相关系数没有通过置信水平为95%的检验, 只有少数通过了置信水平为90%的检验。1980—1990年间中稻单位产量年际变率与4—5月的最高温度年际变率呈负相关关系; 与8—9月的平均温度和最高温度年际变率都呈正相关关系。因此, 中稻单位产量与4—5月的最高温度以及8—9月的平均温度和最高温度在年代际和年际变化趋势上都有密切关系。

### 参考文献

- [1] 陈隆勋, 朱文琴, 王文, 等. 中国近45年来气候变化的研究. 气象学报, 1998, 56(3): 257-271.
- [2] 肖军, 赵景波. 西安市54年以来气候变化特征分析. 中国农业气象, 2006, 27(3): 179-182.
- [3] 陈正洪, 覃军. 湖北省20世纪60年代以来降水变化趋势初探. 暴雨. 灾害(二). 北京: 气象出版社, 1998.
- [4] 陈正洪. 湖北省60年代以来平均气温变化趋势初探. 长江流域资源与环境, 1998, 7(4): 341-346.
- [5] IPCC. Climate Change 2007: the physical science basis. Cambridge UK: Cambridge University Press, 2007.
- [6] 林学椿, 于淑秋. 近40年我国气候趋势. 气象, 1990, 16(10): 16-21.
- [7] 朱明, 夏金, 杨占婷, 等. 十堰市近50年气候变化特征分析及对当地农业生产的影响. 江西农业学报, 2010, 22(7): 149-151.
- [8] 李元华, 李少静. 河北省温度和降水变化对农业的影响. 中国农业气象, 2005, 26(4): 224-228.
- [9] 冯明, 陈正漆, 刘可群, 等. 湖北省主要农业气象灾害变化分析. 中国农业气象, 2006, 27(4): 343-348.
- [10] Daniel R, Chavas R, Cesar I, et al. Long-term climate change impacts on agricultural productivity in eastern China. Agricultural and Forest Meteorology, 2009, 149: 1118-1128.
- [11] 葛道阔, 金之庆, 石春林, 等. 气候变化对中国南方水稻生产的阶段性影响及适应对策. 江苏农业学报, 2002, 18(1): 1-8.
- [12] 熊伟, 陶福祿, 许吟隆, 等. 气候变化情景下我国水稻产量变化模拟. 中国农业气象, 2001, 22(3): 1-5.
- [13] Tao F L, Yokozawa M, Xu Y L, et al. Climate change and trends in phenology and yields of field crops in China. Agricultural and Forest Meteorology, 2006, 138: 82-92.
- [14] 冯明, 刘可群, 毛飞. 湖北省气候变化与主要农业气象灾害的响应. 中国农业科学, 2007, 40(8): 1646-1653.
- [15] 孙永霞, 马平, 尚新利. 2003年气象因素对信阳水稻产量的影响分析. 信阳农业高等专科学校学报, 2004, 4: 12-13.
- [16] 费永成, 陈林, 彭国照, 等. 四川秋绵雨特征及水稻收获的气象适宜度研究. 江苏农业科学, 2013, 41(4): 312-316.
- [17] 杨建玲, 何金海, 赵光平. 宁夏春季沙尘暴与北极海冰之间的遥相关关系. 南京气象学院学报, 2003, 26(3): 296-306.