

气候变化对 1981 年以来湖北省中稻生育期的影响

邓 环 万素琴 刘 敏 刘志雄 邓爱娟

武汉市区域气候中心, 武汉 430074

摘要 从湖北省国家基本气象站中选择有中稻观测资料且较完整的武汉市、随州市、利川市、钟祥市、谷城县等 5 个站点 1981—2008 年生育期观测资料及平均气温、最高气温、最低气温、日照时数、降水量等气象资料, 考察 1981 年以来湖北省不同地区气象要素变化及其对中稻生育期变化的影响。结果表明: 中稻营养生长期平均气温、平均最高气温、平均最低气温大多呈现升高的趋势; 生殖生长期平均最高气温呈现升高的趋势, 而平均气温、平均最低气温呈现降低的趋势, 且 8 月中旬旬平均最高气温明显下降。整个生育期日照时数呈现减少的趋势。全生育期、营养生长期平均气温与平均最低气温的升高导致生育期缩短, 但生殖生长期平均气温、平均最低气温的降低导致生育期延长。综合气象要素的变化导致中稻全生育期天数与营养生长天数在鄂东南、鄂西南、鄂东北、鄂西北表现延长的趋势, 在江汉平原表现为缩短的趋势; 生殖生长天数在不同地区则统一表现出延长的趋势。

关键词 气候变化; 中稻; 生育期; 营养生长期; 生殖生长期

中图分类号 S 162.5 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2013)02-0084-06

气候变化对作物的生长发育和生长潜力的影响受到了众多研究人员的广泛关注^[1-4]。一直以来被国内外学者广泛应用的“积温学说”指出, 作物的生育期随着气温的升高而缩短^[5]。随着全球气候变暖, 许多地区的水稻生育期呈现缩短的变化趋势^[6-8], 长沙地区早稻和晚稻的生育期近年来有明显的提前趋势。研究表明, 合肥地区单季稻的生育期却呈现延后的趋势^[9], 因此, 关于气候变化影响水稻生育期的研究仍存在差异。崔读昌^[8]指出水稻生育期平均气温升高 1 °C, 生育期天数平均缩短 7.6 d。同时, 研究表明水稻的生育期长短不仅受日平均气温的影响, 还受日长、温度日较差及品种的感光性等多种因素的影响^[6, 10]。成林等^[11]分析气候变暖对河南信阳水稻生育期的影响时发现, 水稻播种和移栽日期显著提前, 水稻移栽至抽穗期显著延长。

湖北省地处东西、南部气候过渡带, 其气候变化既有与全球气候变化的相同点, 也有其自身的特点。笔者对 1981 年以来湖北省不同区域中稻生育期变化的趋势以及其与气象要素变化之间的相关关系进行初步分析, 考察气象要素变化及其对中稻生育

期变化的影响, 以为湖北省水稻生产以及品种选育提供参考。

1 材料与方法

1.1 数据来源

从湖北省国家基本气象站中选择具有中稻生长观测资料且资料较完整的武汉市、随州市、利川市、钟祥市、谷城县等 5 个站点分别代表鄂东南、鄂东北、鄂西南、江汉平原、鄂西北 5 个不同的气象地理区域。选取这 5 个站点 1981—2008 年中稻生育期观测资料及全生育期内平均气温、最高气温、最低气温、日照时数、降水量等逐日气象资料。本观测资料由于历经时间长, 品种无法统一, 多为当时当地主栽品种。其中, 1980 年代以汕优、威优系列为主, 1990 年代以汕优和 II 优系列为主, 2000 年以来以 II 优、两优、金优系列为主。观测资料的中稻品种多为杂交中熟品种, 仅随州市 1981、1982 年是早熟品种, 1994—1996 年是晚熟品种; 钟祥市 1983 年为晚熟品种。对早、晚熟品种的生育期天数进行修正, 由于不同熟性品种生育期长短的差异主要表现为营养生

收稿日期: 2012-03-15

基金项目: 中国气象局气候变化专项(CCSF-2010-04)和长江中下游高产优质双季稻主要农业气象灾害指标试验研究(GYHY201006025)(05)

邓 环, 硕士, 研究方向: 农业生态, E-mail: cbhggi@163.com

长期差异,按照营养生长期、全生育期天数早熟品种减少 5 d,晚熟品种增加 5 d 来修正。

1.2 数据处理

利用逐日气象资料计算旬平均气温、旬平均最高气温、旬平均最低气温、旬日照时数、旬降水量;利用生育期普遍出现的日期(进入该发育期的茎数占观测总茎数达到 50% 的日期),计算生育期天数,统计各站点逐年全生育期、营养生长期、生殖生长期时段内平均气温、平均最高气温、平均最低气温、日照时数、降水量等气象要素。气象要素倾向率计算:利用直线方程 $y=at+b$ (a, b 为回归系数, y 为气象要素, t 为时间)中的斜率 a 来描述气象要素的变化趋

势,并对该方程进行信度检验, $a \times 10$ 为气候倾向率。利用 DPS7.0 进行数据显著性检验等统计分析。

2 结果与分析

2.1 中稻生长季气候变化背景

分析表明,不同地区营养生长期平均气温、平均最高气温,平均最低气温大多呈现升高的趋势;生殖生长期平均最高气温呈现升高的趋势,而平均气温、平均最低气温呈现降低的趋势。整个生育期日照时数呈现减少的趋势,且多数通过显著性检验(表 1)。

表 1 不同地区中稻营养生长期和生殖生长期气象要素倾向率¹⁾

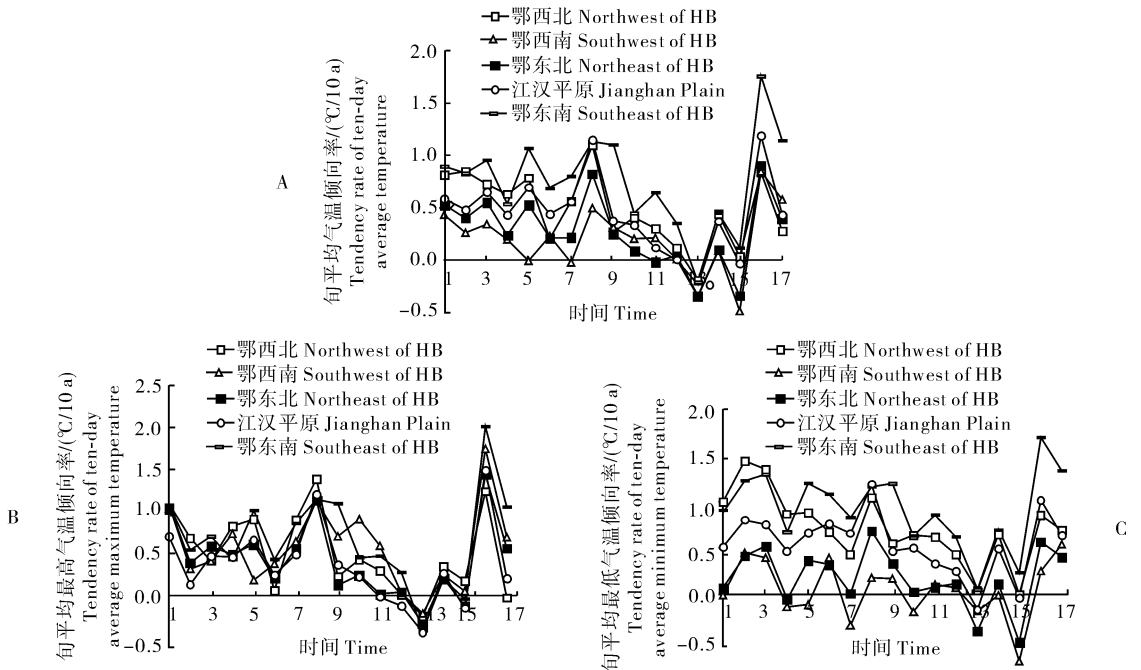
Table 1 The tendency rate of meteorological factors during vegetative growth stage and reproductive stage of mid-season rice in different regions

地区 Regions	平均气温/(°C/10 a) Average temperature		平均最高气温/(°C/10 a) Average maximum temperature		平均最低气温/(°C/10 a) Average minimum temperature		日照时数/(h/10 a) Sunshine hours		降水量/(mm/10 a) Rainfall	
	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
	鄂东北 Northeast of HB	0.00	-0.11	0.02	0.52*	-0.17	-0.64	-52.30*	-3.30	45.16
鄂西南 Southwest of HB	0.35*	-0.13	0.96*	0.44*	0.07	-0.79*	-24.36	-30.34*	-20.19	-7.97
鄂东南 Southeast of HB	1.37*	-0.64	0.49	0.53	1.65*	-1.78*	-66.09	-60.94*	-149.21*	25.87
鄂西北 Northwest of HB	0.28	-0.37	0.43	-0.24	0.49	-0.41	205.52	-47.89*	50.89	26.63
江汉平原 Jianghan Plain	0.55*	0.68*	-0.01	0.85*	1.61*	0.19	-249.30*	-8.89	-20.3	44.72

1) I: 营养生长期 Vegetative stage; II: 生殖生长期 Reproductive stage; * 表示差异性达 10% 显著水平, 表 2 同。* means the significance at 0.1 level. The same as Table 2.

由图 1-A 可知,4 月中旬至 8 月上旬不同地区几乎都呈现变暖的趋势;8 月中旬至 9 月下旬不同地区变幅较一致,8 月中旬、9 月上旬有 2 个低峰值,最高峰值均出现在 9 月中旬。整个生育期热量增加对中稻生长是有利的,但 8 月中旬平均气温的降低容易使处于抽穗开花期的中稻遭遇盛夏低温。由图 1-B、C 可知,旬平均最高气温倾向率各地区差别不大,8 月中旬旬平均最高气温皆变冷。旬平均最低气温倾向率不同地区差异较大,除鄂西北从 5 月上旬至 6 月中旬陡峭下降外,其他 4 个区旬平均最低气温倾向率基本呈现鄂东南 > 江汉平原 > 鄂东北 > 鄂西南的规律。以上结果表明:湖北省 1981 年以来不同地区最高气温变化较为一致,最低气温变化差异较大,其中鄂东南最低气温增高的趋势最明显,鄂西南最不明显。

由图 2 可知,旬降水量倾向率变化规律不明显,且波动大,倾向率变化在 -42.7~26.1 mm/10 a 之间,说明 1981 年以来容易出现旱涝交替和强降水等极端天气的情形。4 月中旬、5 月上旬各地区降水增多,初夏时段鄂西北、鄂东南、江汉平原连续 3 旬或以上降水减少,较易出现初夏旱。夏秋交替时节鄂西北、鄂东北、鄂东南连续 3 旬降水量减少,容易出现伏秋连旱。9 月中旬各地区降水量呈减少的趋势,此时湖北省大部地区中稻是处于成熟收割期,降水减少对中稻的收晒是有利的。中稻生育期内的有效日照减少不利于中稻的生长。不同地区旬日照时数仅 4 月中旬、6 月中旬、9 月中旬增多。其中 4 月下旬至 5 月上旬、5 月下旬至 6 月上旬、7 月下旬至 8 月下旬为日照持续减少的时段(图 2-B)。



1~17 分别表示 4 月中旬、4 月下旬、5 月上旬、5 月中旬、5 月下旬、6 月上旬、6 月中旬、6 月下旬、7 月上旬、7 月中旬、7 月下旬、8 月上旬、8 月中旬、8 月下旬、9 月上旬、9 月中旬、9 月下旬，下同。Number 1 to 17 means middle of April, end of April, early of May, middle of May, end of May, early of June, middle of June, end of June, early of July, middle of July, end of July, early of August, middle of August, end of August, early of September, middle of September, end of September, respectively, the same in the next figures.

图 1 不同地区水稻生长季 1981—2008 年旬平均气温、旬平均最高气温、旬平均最低气温倾向率(°C/10 a)

Fig.1 The tendency rate of ten-day average temperature, average maximum temperature and average minimum temperature of rice in different regions from 1981 to 2008

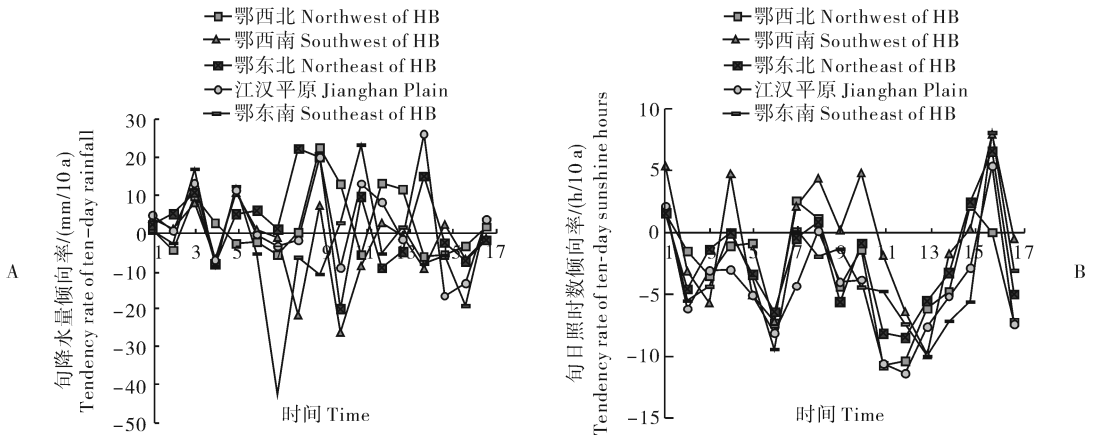


图 2 不同地区水稻生长季 1981—2008 年旬降水量倾向率(mm/10 a)和旬日照时数倾向率(h/10 a)

Fig.2 The tendency rate of ten-day rainfall and sunshine duration of rice in different regions from 1981 to 2008

2.2 气候变化对中稻生育期的影响

1)不同地区中稻生育期的变化。分析 1981—2008 年中稻播种日期的变化趋势,发现鄂东北、鄂西北的中稻播种日期明显提前,而鄂西南、鄂东南、

江汉平原中稻的播种日期则略推迟。对每个生育期天数倾向率进行分析,发现不同地区播种至出苗的天数大多缩短,而出苗至三叶期的天数延长,分蘖至孕穗期的天数缩短,孕穗期、抽穗期、乳熟期、成熟期

天数大多延长。由表 2 可知,全生育期天数江汉平原每 10 a 缩短 3.64 d,其他 4 个地区都有不同程度的延长,鄂西北(7.76 d) > 鄂东北(5.19 d) > 鄂东南(3.55 d) > 鄂西南(2.09 d)。同样,除江汉平原外,其他地区营养生长天数均出现延长,鄂西南、鄂

表 2 不同地区中稻全生育期、营养生长和生殖生长天数倾向率(d/10 a)

Table 2 The tendency rate of days to total growing stage, vegetative growth and reproductive growth of mid-season rice

地区 Regions	营养生长天数 Days of vegetative growth	生殖生长天数 Days of reproductive growth	全生育期天数 Days of total growing stage
鄂东北 Northeast of HB	2.13*	3.06*	5.19*
鄂西南 Southwest of HB	0.14	1.96	2.09
鄂东南 Southeast of HB	0.39	3.16*	3.55
鄂西北 Northwest of HB	4.87*	2.89*	7.76*
江汉平原 Jianghan Plain	-5.80*	2.16*	-3.64*

东南变化不大,鄂东北延长 2.13 d,鄂西北延长最多为 4.87 d,江汉平原则缩短了 5.80 d。生殖生长天数则表现出统一的延长趋势,分别为鄂东南(3.16 d) > 鄂东北(3.06 d) > 鄂西北(2.89 d) > 江汉平原(2.16 d) > 鄂西南(1.96 d)。

2)气象要素与中稻生育期天数的相关分析。由表 3 中可知,不同地区平均气温、平均最低气温与全生育期天数都呈负相关,降水量除鄂东南外,其他 4 个区域都呈正相关,即平均气温与平均最低气温的升高导致全生育期天数缩短。鄂东北、鄂西南、江汉平原中稻全生育期天数的变化与平均气温呈极显著负相关,同时,鄂西南、江汉平原平均最低气温的变化与全生育期天数的变化分别达到显著负相关和极显著负相关,表明平均气温、平均最低气温的变化对鄂西南、江汉平原生育期长短有明显的影 响。鄂西北仅降水量这一气象要素与全生育期的变化呈显著正相关,即鄂西北降水量增多导致全生育期天数延长,对中稻生产是有利的(表 1~2)。

表 3 气象要素与全生育期天数的相关系数¹⁾

Table 3 Correlation coefficient of days of total growing stage with metrological factors

地区 Regions	平均气温 Average temperature	平均最高气温 Average maximum temperature	平均最低气温 Average minimum temperature	日照时数 Hours of sunshine	降水量 Precipitation
鄂东北 Northeast of HB	-0.52**	0.10	-0.12	-0.41*	0.19
鄂西南 Southwest of HB	-0.66**	-0.06	-0.40*	0.04	0.30
鄂东南 Southeast of HB	-0.26	0.09	-0.22	0.06	-0.11
鄂西北 Northwest of HB	-0.18	0.35	-0.02	0.14	0.46*
江汉平原 Jianghan Plain	-0.78**	-0.13	-0.47**	-0.18	0.23

1) * 表示差异性达 5% 显著水平, ** 表示差异性达 1% 显著水平, 下表同。* means the significance at 0.05 level, ** means the significance at 0.01 level. The same as below.

营养生长天数与气象要素的关系与全生育期天数相似,也表明平均气温与平均最低气温的升高导致营养生长天数缩短(表 4)。不同地区的平均气温与营养生长天数都呈负相关,其中鄂东南、江汉平原达到极显著。鄂西北、鄂东南、鄂西南、江汉平原平均最低气温与营养生长天数呈负相关,其中鄂东南达到显著负相关,江汉平原达到极显著负相关;同时这 4 个区域降水量与营养生长天数呈正相关,其中鄂西北达显著正相关,说明鄂西北中稻营养生长受降水影响较大,营养生长期降水增多导致营养生

长期延长。鄂西南中稻的营养生长天数与日照时数显著相关,鄂西南日照时数的减少导致营养生长期的缩短(表 1~2)。

不同地区中稻的生殖生长天数与平均气温、平均最低气温呈负相关,与降水量呈正相关(表 5)。其中鄂东北、鄂西南平均气温与生殖生长天数达显著负相关;鄂东北、鄂东南、鄂西南平均最低气温与生殖生长天数达显著相关;鄂西南、江汉平原降水量与生殖生长天数达显著正相关,鄂西北达极显著正相关。鄂西南生殖生长期降水量的减少导致生殖

生长期的缩短,但鄂西北及江汉平原生殖生长期间降水量的增多导致生殖生长期的延长。江汉平原生殖生长天数与日照时数呈显著负相关,表明江汉平原生殖生长期日照时数的减少导致生殖生长期的延长。

表 4 气象要素与营养生长天数(播种至孕穗)的相关系数

Table 4 Correlation efficient of days of vegetative growth with metrological factors from seeding to booting

地区 Regions	平均气温 Average temperature	平均最高气温 Average maximum temperature	平均最低气温 Average minimum temperature	日照时数 Hours of sunshine	降水量 Precipitation
鄂东北 Northeast of HB	-0.02	0.44 *	0.05	-0.02	-0.11
鄂西南 Southwest of HB	0.17	-0.09	-0.22	0.52 **	0.19
鄂东南 Southeast of HB	-0.58 **	-0.34	-0.54 *	-0.19	0.12
鄂西北 Northwest of HB	-0.06	0.28	-0.30	-0.02	0.40 *
江汉平原 Jianghan Plain	-0.58 **	0.20	-0.57 **	0.07	0.27

表 5 气象要素与生殖生长天数(孕穗至成熟)的相关系数

Table 5 Correlation efficient of days of reproductive growth with metrological factors from booting to maturity

地区 Regions	平均气温 Average temperature	平均最高气温 Average maximum temperature	平均最低气温 Average minimum temperature	日照时数 Hours of sunshine	降水量 Precipitation
鄂东北 Northeast of HB	-0.42 *	0.09	-0.42 *	-0.07	0.11
鄂西南 Southwest of HB	-0.42 *	-0.01	-0.38 *	0.29	0.38 *
鄂东南 Southeast of HB	-0.26	0.15	-0.47 *	0.20	0.39
鄂西北 Northwest of HB	-0.26	-0.12	-0.14	-0.24	0.65 **
江汉平原 Jianghan Plain	-0.13	0.10	-0.14	-0.44 *	0.42 *

3 讨论

1981—2008 年气候变化导致湖北省中稻全生育期天数与营养生长天数在鄂东南、鄂西南、鄂东北、鄂西北表现延长的趋势,在江汉平原表现为缩短的趋势;生殖生长天数在不同地区则统一表现出延长的趋势,说明气候变化并没有导致湖北省每个地区中稻生育期都缩短,与人们普遍认为的目前气候变暖导致水稻生育期缩短的观点有差异。本文研究结果表明,1981—2008 年中稻生育期变化是不同气象要素综合作用的结果。中稻全生育期间、营养生长期间平均气温与平均最低气温的升高导致生育期缩短,但生殖生长期平均气温、平均最低气温的降低导致生育期延长。鄂西北播种日期明显提前以及降水增多是营养生长天数延长的主要原因;而鄂东北营养生长期的延长主要是因为播种日期的提前及

日照时数的减少;平均气温及平均最低气温的升高导致江汉平原营养生长期缩短。孕穗至成熟期内鄂东北、鄂西北、鄂东南、鄂西南 4 个地区生殖生长天数延长的主要原因是平均气温及最低气温的下降。1981—2008 年气候变化对湖北中稻生产的影响有利有弊。整个生育期热量的增加以及 9 月中旬中稻收晒期降水量的减少,对中稻生产有利;但盛夏低温、旱涝急转、强降水等农业气象灾害及有效日照的减少对中稻生产是不利的。在农业生产应用中,以旬时间段来分析气候变化对农业生产的影响是较为合理的,也是前人研究中比较少见的。我们较为详细地分析了不同地区中稻生育期内逐旬气候变化以及过去近 30 年中稻主栽品种生育期变化事实,并分析了中稻生育期变化与气候变化的关系,以及导致不同地区生育期变化的原因,对湖北省的中稻生产实际可以起到一定的指导作用。

参 考 文 献

- [1] YOSHINO M. Impact of climate on agriculture and forestry: a review on the world climate impact studies programme in east Asia[J]. *Journal of Agricultural Meteorology*, 1990, 46(3): 153-165.
- [2] VAN HETER E J. Validation of a dynamic lettuce growth model for greenhouse climate control[J]. *Agricultural System*, 1994, 45:55-72.
- [3] MATSUI T, OMASA K. High temperature-induced spikelet sterility of Japonica rice at flowering in relation to air temperature humidity and wind velocity condition[J]. *Japanese Journal of Crop Science*, 1997, 66: 449-455.
- [4] DANIEL R, CHAVAS R, CESAR I, et al. Long term climate change impacts on agricultural productivity in eastern China [J]. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2009, 149: 1118-1128.
- [5] 崔学明. 农业气象学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006: 8.
- [6] 刘桃菊, 殷新佑, 戚昌瀚, 等. 气候变化与水稻生长发育及产量形成关系的模拟研究[J]. *应用生态学报*, 2005, 16(3): 486-490.
- [7] 气候变化国家评估报告编委会. 气候变化国家评估报告[M]. 北京: 科学出版社, 2006.
- [8] 崔读昌. 气候变暖对水稻生育期影响的情景分析[J]. *应用气象学报*, 1995, 6(3): 361-365.
- [9] TAO F L, YOKOZAWA M, XU Y L, et al. Climate change and trends in phenology and yields of field crops in China[J]. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2006, 138: 82-89.
- [10] 薛昌颖, 刘荣花, 吴莺, 等. 气候变暖对信阳地区水稻生育期的影响[J]. *中国农业气象*, 2010, 31(3): 353-355.
- [11] 成林, 薛昌颖, 李彤霄, 等. 河南省稻麦类作物对气候变化的响应[J]. *气象与环境科学*, 2010, 33(3): 6-10.

Effects of climate change on growing stage of mid-season rice in Hubei Province since 1981

DENG Huan WAN Su-qin LIU Min LIU Zhi-xiong DENG Ai-juan

Wuhan Regional Climate Center, Wuhan 430074, China

Abstract The ten-day change of meteorological factors from different regions of Hubei Province since 1981 and its effects on growing stage change of mid-season rice were analyzed, which was based on meteorological data including growing stage of mid-season rice, average temperature, the average maximum temperature, the average minimum temperature, the sunshine duration and the rainfall from 1981 to 2008 taken from national basic meteorological observation stations of Hubei Province including five regions as Wuhan, Suizhou, Lichuan, Zhongxiang and Gucheng with complete observation data of mid-season rice. The results showed that the average temperature, the average maximum temperature and the average minimum temperature exhibited an increasing tendency in the vegetative growth of mid-season rice. The average maximum temperature exhibited an increasing tendency in the reproductive growth, but the average temperature and the average minimum temperature showed a decreasing tendency. Moreover, there was an obvious decreasing tendency for the average maximum temperature in the midmonth of August. The sunshine duration showed a decreasing tendency in the whole growth stage. The growing stage would shorten with the average temperature and the average minimum temperature increasing in the full-growing stage and vegetative growth. However, its decreasing would result in extending the growing stage of mid-season rice. The days of full-growing stage and vegetative growth of mid-season rice exhibited an extending tendency in the southeast, southwest, northeast and northwest of Hubei Province influenced by the change of comprehensive meteorological factors, but a shortening tendency in Jiangnan Plain. The days of reproductive growth showed an extending tendency in the five regions mentioned above.

Key words climate change; mid-season rice; growing stage; vegetative stage; reproductive stage
(责任编辑: 陆文昌)