

# 湖北省水稻生长季热量资源变化特征 及其对水稻生产的影响

刘敏<sup>1</sup> 刘安国<sup>2</sup> 邓爱娟<sup>1</sup> 万素琴<sup>1</sup> 刘志雄<sup>1</sup>

1. 武汉区域气候中心, 武汉 430074; 2 华中农业大学植物科学技术学院, 武汉 430070

**摘要** 为了研究近 50 a 来湖北省热量资源的变化特征及其对水稻生产的影响, 利用湖北省 1961—2008 年水稻产区的气象资料, 计算了水稻生长季主要热量资源要素包括农业界限温度持续时间和积温、气温日较差等的变化趋势, 并分析了其变化对水稻生产的影响。结果表明: 稳定通过 8、10、12 ℃ 初日提前、稳定通过 20、22 ℃ 终日推迟、间隔期延长, 积温增加, 水稻适宜种植期延长; 10 ℃ 初日至 20 ℃(22 ℃) 终日持续日数在大部双季稻种植区都有不同程度的延长, 积温也有不同程度的增加。大部分地区水稻生长季气温日较差和早稻、中稻、晚稻灌浆期日较差呈减少趋势, 西部减少趋势小于东部。可将早熟品种换种生育期相对较长、产量相对较高的中熟、迟熟品种, 以提高水稻单产; 双季稻种植范围可以适当向北部水源充足、灌溉条件较好的地区推移, 以提高水稻总产。

**关键词** 水稻; 农业气候资源; 热量资源; 农业界限温度; 积温; 气温日较差

**中图分类号** S 511; S161.2<sup>+2</sup> **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2011)06-0746-07

水稻是湖北省最主要的粮食作物, 常年种植面积 213.3 万 hm<sup>2</sup> 左右, 约占全省粮食种植面积的 50%, 总产 150 亿 kg 以上, 占全省粮食作物总产量的 70% 左右, 关系着湖北省粮食安全甚至对国家粮食安全有重要影响。近 50 年来, 湖北省气候发生了较大变化, 年平均气温和最低气温上升明显, 气温日较差减小, 夏季延长, 冬季缩短, 强降水发生频率增加<sup>[1-5]</sup>。水稻生产与气候条件关系密切, 农业气候资源要素的质量及其年内变化特点决定了水稻生产的布局和结构<sup>[6-7]</sup>。因此, 在全球变暖的大背景下, 研究和分析近 50 a 来湖北省水稻生长季热量资源时空分布特征以及其对水稻生产的影响, 对充分利用气候资源、合理调整水稻种植结构和制度, 趋利避害, 具有重要的现实意义。

## 1 资料与方法

### 1.1 湖北省水稻种植分布

湖北属单、双季稻混作区, 其中一季中稻占 65% 左右, 在全省都有播种。水稻产区主要分为 7 个区域, 分别为鄂东丘陵岗地双季稻区、江汉平原双季稻区、鄂东南低山丘陵单双季稻区、鄂东北低山丘陵单双季稻区、鄂中北丘陵岗地单季稻区、鄂西北山

地单季稻区、鄂西南山地单季稻区。

### 1.2 资料来源及处理方法

1) 资料来源。湖北省境内 74 个气象站(秭归和五峰 2 个站由于迁站, 海拔相差很大, 未作考虑)。气象资料来自湖北省气象档案馆, 资料年代为 1961—2008 年, 共 48 a。

2) 热量资源的计算方法。某台站某一时间段  $\geq X$  ℃ 积温, 选用偏差法计算。首先求算 1961—2008 年每年稳定通过  $X$  ℃ 的起止日期内  $\geq X$  ℃ 的积温, 然后采用经验频率法计算该台站不同时间段内(分为 2 个时间段, 分别为 1961—1980、1991—2008) 80% 保证率下的积温<sup>[8]</sup>。稳定通过是指后期不再出现连续 5 d 滑动日平均气温值低于或高于规定的指标<sup>[9]</sup>。根据资料稳定通过 8 ℃ 初日为湖北省双季早稻地膜育秧的界限温度, 稳定通过 10 ℃ 或 12 ℃ 初日为露天育秧的界限温度<sup>[11-13]</sup>, 20、22 ℃ 终日是双季晚稻安全抽穗扬花的临界温度<sup>[11]</sup>, 10 ℃ 初日至 10 ℃ 终日积温为水稻生长界限温度<sup>[11-12]</sup>, 其中 10 ℃ 初日至 20 ℃/22 ℃ 终日为双季稻生长界限稳定。运用上述方法计算了水稻产区日平均气温稳定通过 8、10、12 ℃ 初日、20、22 ℃ 终日、10 ℃ 初日至 10 ℃ 终日、10 ℃ 初日至 20 ℃(22 ℃) 终日持续日数和积温、

水稻生长季和关键生育期积温、气温日较差等农业气候资源要素。

3) 气候变化倾向率计算。利用最小二乘法拟合一元线性方程  $y=at+b$ ( $a, b$  为回归系数,  $y$  为气象要素,  $t$  为时间) 计算各气象要素的年趋势变化率, 其斜率( $a$ )表示气象要素变化倾向率,  $a$  值的符号正或负反映趋势上升或下降<sup>[10]</sup>。年变化率回归分析的显著性用  $F$  检验, 文章中的倾向率变化图给出显著水平为 0.01、0.05 和 0.1 的等值线(白色为 0.01, 黑色为 0.05, 蓝色为 0.1), 0.1 等值线外为未通过 0.1 显著性检验的区域。

4) 图形制作。根据上述方法计算出 74 个站点的各农业气象要素的统计量后, 采用反距离平方加权插值方法 IDW(inverse distance weighted interpolation) 对气象数据进行插值, 采用 Arc GIS 9.0 制作图形。

表 1 主要界限温度初、终日年代变化及其倾向率(月-日)

Table 1 Decade change and its trend rate of primary agricultural temperature limits (mm-dd)

年代 Decade	8 ℃初日(双季稻区) First day of 8 ℃ in double-crop rice growing areas	10 ℃初日(全省) First day of 10 ℃ in all areas	12 ℃初日(全省) First day of 12 ℃ in all areas	20 ℃终日(双季稻区) Last day of 20 ℃ in double-crop rice growing areas	22 ℃终日(双季稻区) Last day of 22 ℃ in double-crop rice growing areas
20世纪 60 年代 1960s	03-13/03-14	03-28	04-06	09-26	09-16
20世纪 70 年代 1970s	03-13/03-14	03-21	03-30/3-31	09-26	09-12/09-13
20世纪 80 年代 1980s	03-15/03-16	03-24	04-01	09-23	09-12/09-13
20世纪 90 年代 1990s	03-15/03-16	03-24	04-01	09-29	09-18
21世纪以来 Since 21c	03-06	03-15	03-27	09-29	09-14/09-15
倾向率/(d/10 a) Trend-rate	-1.35	-2.19	-1.99 <sup>*1)</sup>	0.89	0.25

1) \* 表示通过 0.1 的显著性检验, 下同 Indicates having passed 0.1 significant test, the same as below.

最多为 2.00~2.90 d/10 a, 全省平均的年代变化均通过 0.1 的显著性检验, 提前趋势约为 1.99 d/10 a。

湖北省达到露天育秧或地膜育秧适宜温度初日均有提前, 水稻安全播种期均有不同程度提前, 利于水稻播种育秧和壮苗培育。

从表 1 和图 1 可知, 湖北省双季晚稻产区稳定通过 20 ℃终日均有不同程度延迟, 大部为 0.50~1.50 d/10 a, 江汉平原南部、鄂东南大部终日延迟最多, 为 1.50~2.35 d/10 a, 其中鄂东南东部、江汉平原局部通过显著性检验; 全省双季稻区 20 ℃终日年代变化趋势平均推迟约 0.89 d/10 a。22 ℃终日延迟大部为 0.50~1.50 d/10 a, 鄂东南局部、江汉

## 2 结果与分析

### 2.1 水稻生长季主要界限温度初、终日和持续日数的变化趋势

从表 1 可以看出, 湖北省近 50 年来双季稻产区稳定通过 8、10、12 ℃三种界限温度的初日均有不同程度提前。

稳定通过 8 ℃初日提前日数以鄂东北北部及鄂东南西部最多, 为 2.00~3.25 d/10 a, 年代变化在 20 世纪 60、70 年代平均为 3 月 13 或 14 日, 80、90 年代略有推迟, 平均为 3 月 15 或 16 日, 而进入 21 世纪以来则提前较多, 初日为 3 月 6 日左右。稳定通过 10 ℃初日以鄂东北西部及江汉平原中部提前最多, 为 2.50~3.57 d/10 a, 全省平均的年代变化呈 2.19 d/10 a 的提前趋势, 稳定通过 12 ℃初日提前日数分布与 10 ℃类似, 但提前日数不如 10 ℃多,

平原局部延迟稍多, 为 1.50~2.05 d/10 a, 武汉、阳新延迟最多, 但大部地区均未通过 0.1 的显著水平, 全省双季稻区 22 ℃终日年代变化趋势平均推迟约 0.25 d/10 a。稳定通过 20 ℃和 22 ℃终日的延迟能保障双季晚稻安全扬穗开花, 但通过显著性检验的区域并不多, 特别是通过 22 ℃终日 21 世纪以来较 20 世纪 90 年代还提前 3~4 d, 因此杂交晚稻北扩要慎重。

从表 2 可知, 全省各地 10 ℃初日至 10 ℃终日持续日数均有不同程度增加, 且东部明显多于西部, 大部分地区增幅在 2.00~4.87 d/10 a 之间, 襄阳至枣阳一带持续日数增加最多, 最多达 4.00~4.87 d/10 a,

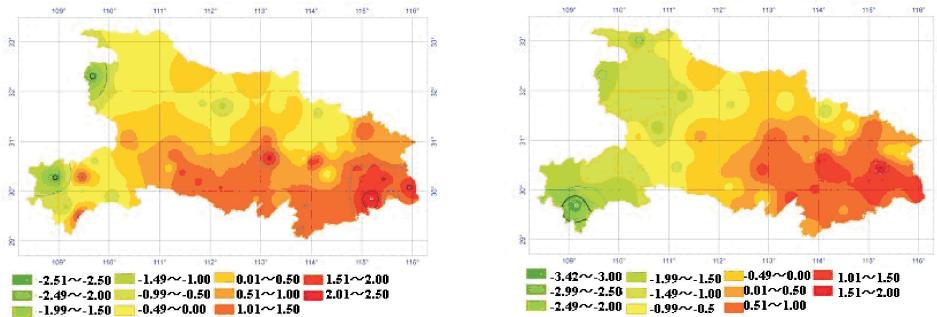


图1 稳定通过 20、22 °C 终日气候倾向率(d/10 a, 1961—2008)

Fig. 1 Decade climatic trend rate of ending date below 20, 22 °C

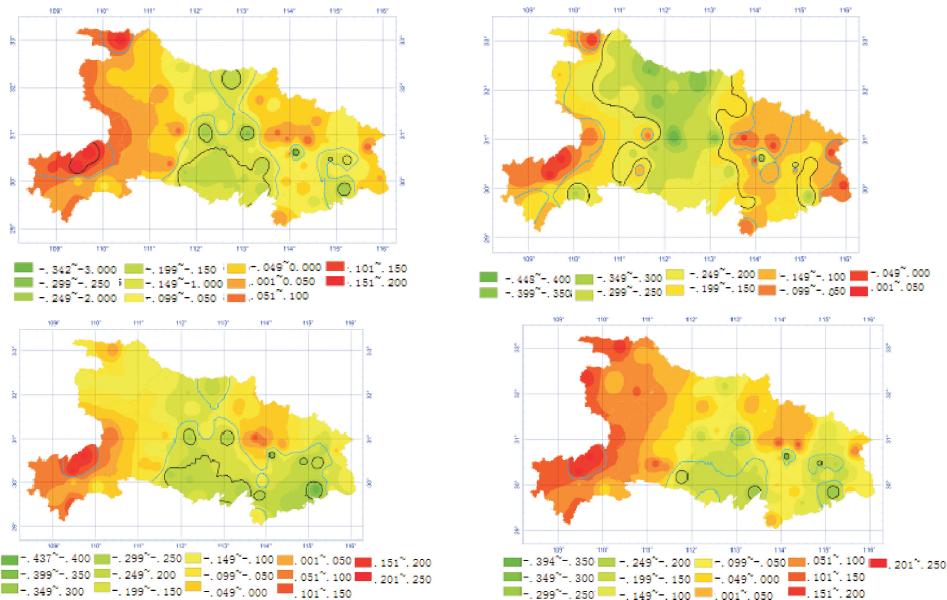


图2 4—10月(A)、6—7月(B)、8—9月(C)、9—10月(D)气温日较差气候倾向率(°C/10a, 1961—2008)

Fig. 2 Decade climatic trend rate of the temperature diurnal range in April to October (A), June to July (B),

August to September (C) and September to October (D)

全省持续日数在20世纪60年代平均约为232 d,而21世纪以来则增加到249 d,年代趋势率为3.07 d/10 a;双季稻产区10 °C初日至20 °C和22 °C终日持续日数均有不同程度增加趋势,江汉平原及鄂东10 °C初日至20 °C和22 °C终日持续日数增幅大部分为2.00~5.10 d/10 a;双季稻区10 °C初日至20 °C和22 °C终日持续日数平均日数年代变化趋势分别为3.35和2.71 d/10 a,全省一季稻和双季稻的生长界限温度年代持续日数变化均通过显著性检验。

## 2.2 水稻生长季主要界限温度积温的变化趋势

从表3可以看出,双季稻区10 °C初日至20 °C终日积温在20世纪60、70年代也呈增加趋势,80

年代同样略有减少,为4 302.9 °C,90年代以来又明显增加,年代变化趋势约为87.13 °C/10 a;10 °C初日至22 °C终日积温在60年代约为4 160.6 °C,70、80年代略有减少,90年代以后又明显增加,年代变化趋势约为68.88 °C/10 a。10 °C初日至20 °C/22 °C终日积温和持续日数的不同程度增大对于保证双季稻安全生长、齐穗非常有利。

湖北省双季早稻的生育期一般为3月中旬至7月中旬,一季中稻为4月中旬至9月中旬,双季晚稻为6月中旬至10月下旬,一季水稻生育期为200~250 d左右<sup>[10]</sup>。从表3可以看出,在湖北省双季晚稻和一季中稻的3个生育阶段的积温年变化率除鄂西山区局部积温略有减少外,全省大部地区双季

稻和一季稻生育期积温均呈增加趋势,且积温增幅分布显著呈南多北少趋势,梯度分布态势非常明显,江汉平原和鄂东南积温增加较为明显,早稻生育期积温增幅  $40\sim68^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ ,一季稻生育期增幅  $20\sim56^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ ,双季晚稻增幅  $10\sim44^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 。

江汉平原和鄂东大部积温年增幅较大,双季稻

和一季稻的正常生长期缩短。双季稻产区的早稻生育期间活动积温从 20 世纪 90 年代以来呈稳定增长趋势,21 世纪以来为  $2 857.7^{\circ}\text{C}$ ,较 20 世纪 60 年代增加约  $180^{\circ}\text{C}$ ;晚稻和一季稻生育期间活动积温 21 世纪以来较 20 世纪 60 年代分别增  $60^{\circ}\text{C}$  和  $50^{\circ}\text{C}$ ,增幅小于早稻。

表 2 主要界限温度持续日数(A)和积温(B)年代变化及其倾向率

Table 2 Decade change and its trend rate of last days (A) of main temperature limits and its accumulated temperature (B) with primary agricultural temperature limits

年代 Decade	10℃初日至10℃终日持续 日数和积温(全省)		10℃初日至20℃终日持续 日数和积温(双季稻区)		10℃初日至22℃终日持续 日数和积温(双季稻区)	
	Last days and accumulated temperature of 10℃'s first and last day in all areas		Last days and accumulated temperature of 10℃'s first day to 20℃'s last in double-crop rice areas		Last days and accumulated temperature of 10℃'s first day to 22℃'s last day in double-crop rice areas	
	A/d	B/°C	A/d	B/°C	A/d	B/°C
20世纪60年代 1960s	232.5	5 059.9	182.7	4 370.5	173.1	4 160.6
20世纪70年代 1970s	238.9	5 105.3	189.7	4 412.5	176.2	4 115.9
20世纪80年代 1980s	236.6	5 026.5	184.1	4 302.9	174.0	4 080.9
20世纪90年代 1990s	237.3	5 138.4	189.4	4 499.3	178.7	4 261.5
21世纪以来 Since 21c	248.6	5 402.1	199.6	4 762.7	185.4	4 432.3
倾向率/(d/10 a) Trend-rate	3.07*	5 059.9	3.35*	87.13	2.71*	68.88

表 3 水稻生育期积温年代变化及其倾向率

Table 3 Decade change and its trend rate of the accumulated temperature in rice growing seasons

°C

年代 Decade	3月中旬至7月中旬(双季稻区)		4月中旬至9月中旬(全省)		6月中旬至10月下旬(双季稻区)	
	Mid-March to mid-July in double-crop rice areas	Mid-April to mid-September in all areas	Mid-June to late October in double-crop rice areas			
20世纪60年代 1960s	2 671.9		3 964.9		3 550.9	
20世纪70年代 1970s	2 628.0		3 932.2		3 515.7	
20世纪80年代 1980s	2 629.6		3 887.1		3 467.0	
20世纪90年代 1990s	2 649.1		3 964.8		3 542.5	
21世纪以来 Since 21c	2 857.7		4 014.4		3 611.5	
倾向率/(d/10 a) Trend-rate	39.29		13.16		14.80	

### 2.3 水稻生长季气温日较差的变化趋势

从图 2 结果可以看出,水稻生长季期间(4—10月),鄂西和鄂东局部气温日较差呈增加趋势,但增幅较小,鄂西南的利川东部—恩施—建始一带及鄂西北的郧西最大也仅为  $0.100\sim0.200^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ ,鄂东北不过  $0.001\sim0.100^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ ;其他地区气温日较差均为减小趋势,减少较多的地区主要分布在江汉平原、鄂北岗地及鄂东局部,其中荆门、京山、武汉和阳新气温日较差减少最多,为  $0.200\sim0.342^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 。

早稻抽穗至成熟期(6—7月)的气温日较差全省双季稻区均为减少趋势,武汉、阳新气温日较差减少最多,为  $0.30\sim0.39^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ ;鄂东丘陵岗地稻区西部及东端、鄂东北低山丘陵稻区东端及鄂东南的通城减小最少,气温日较差减幅  $0.04\sim0.10^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$  或基本维持不变;其他地区日较差减幅  $0.10\sim0.30^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 。一季稻抽穗至成熟期(8—9月)全省约有  $1/4$  地区气温日较差呈增加趋势,尤其是鄂西南二高山地区,气温日较差增幅在  $0.05\sim0.25^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$  之间,其次是鄂东北的孝感—应城—

安陆—孝昌一带,增幅 $0.01\sim0.15^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ ;其他地区日较差为减小趋势,江汉平原、鄂西北东部以及鄂东南较为明显,日较差减幅 $0.15\sim0.4^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ ,其中鄂东南的阳新减幅最大,为 $0.437^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 。双季稻稻区中江汉平原稻区东北端、鄂东丘陵岗地稻区西北端及鄂东北低山丘陵岗地稻区东部晚稻抽穗至成熟期(9—10月)日较差略有增加趋势,增幅仅为 $0.01\sim0.15^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ ,其他稻区日较差均有不同程度减少趋势,其中,江汉平原稻区、鄂东丘陵岗地稻区中部及鄂东南低山丘陵稻区日较差减少最多,减幅 $0.15\sim0.395^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ (武汉),其他稻区气温日较差变化不大或基本保持不变。部分水稻产区气温日较差的增加趋势有利于优质稻的生产,但大部分双季

稻及单季稻抽穗至成熟期的气温日较差呈减小趋势将对水稻品质形成带来不利影响。

#### 2.4 $\geqslant 10^{\circ}\text{C}$ 积温变化对双季稻种植北界的影响

湖北省双季稻种植区域主要分布在 $31^{\circ}\text{N}$ 以南地区,在热量条件较好的鄂东可种植到 $31^{\circ}\text{N}$ 以北<sup>[13]</sup>。目前湖北省生产上应用的双季早晚稻品种主要是早、中熟类型,从近年来推广品种和熟制种植模式看(表4),早晚双季稻搭配种植模式主要有早熟早稻+中熟晚籼、早熟早稻+迟熟晚梗、中熟早稻+中熟晚籼<sup>[14]</sup>。早稻和晚籼稻属感温性较强品种,温度高则生长发育进度快,温度低则发育慢;而晚梗稻则属感温性较弱、感光性较强品种。积温的变化是影响水稻种植北界的重要因素<sup>[15]</sup>。

表4 湖北省双季稻主要熟制搭配模式、品种及积温需求

Table 4 Primary cropping system ,variety and required accumulated temperature of double-crop rice in Hubei Province

熟制搭配模式 Different matches of mature nature	最低 $\geqslant 10^{\circ}\text{C}$ 积温要求/( $^{\circ}\text{C} \cdot \text{d}$ ) Needed least accumulated temperature above $10^{\circ}\text{C}$	代表品种(生育期) Typical species (Growing periods)
早熟早稻+中熟晚籼 Early mature early rice and mid-mature late Indica rice	5 100	早稻嘉育 948(108 d)+中熟晚籼 稻金优 207(118 d)
中熟早稻+中熟晚籼 Mid-mature early rice and mid-mature early Indica rice	5 200	中熟早稻两优 287(113 d)+ 中熟晚籼中 9 优 1254(116 d)
早熟早稻+迟熟晚梗 Early mature early rice and late mature late Japonica rice	5 300	早稻鄂早 17(109 d)+晚梗稻鄂晚 17(125 d)

从图3结果可看出,80%保证率 $\geqslant 10^{\circ}\text{C}$ 活动积温 $5 100\text{ (}^{\circ}\text{C} \cdot \text{d)}$ 是“早熟早稻+中熟晚籼”搭配双季稻种植最低积温需求。1961—1980年 $5 100\text{ (}^{\circ}\text{C} \cdot \text{d)}$ 区域主要在鄂东南及三峡河谷,鄂东北东南部也有零星分布;而1991—2008年 $5 100\text{ (}^{\circ}\text{C} \cdot \text{d)}$

线则位于湖北省南北向的中部,最北到达鄂东北的麻城,北移了约45 km;江汉平原大部都达到了 $5 100\text{ (}^{\circ}\text{C} \cdot \text{d)}$ 以上,最北到达京山;三峡河谷满足“早熟早稻+中熟晚籼”搭配需求的区域也有所增大,与江汉平原连成一片。

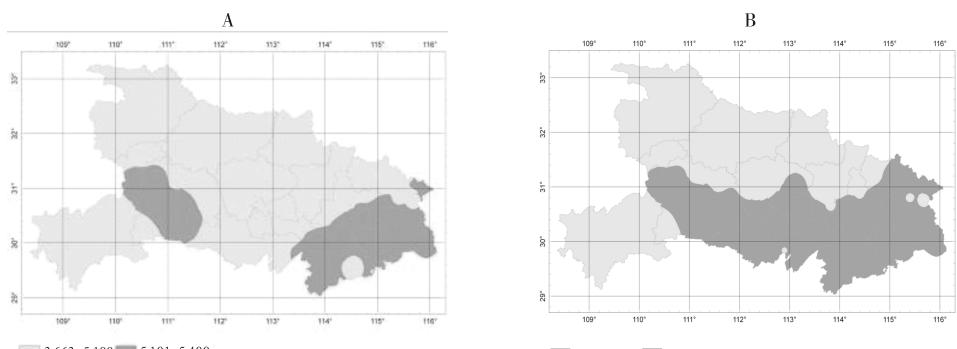


图3 “早熟早稻+中熟晚籼”北界变化( $5 100\text{ (}^{\circ}\text{C} \cdot \text{d)}$ ,1961—1980(A),1991—2008(B))

Fig. 3 Change of cropping system's northern limits of earlier mature early rice with medium mature late rice( $5 100\text{ (}^{\circ}\text{C} \cdot \text{d)}$ ,1961—1980(A),1991—2008(B))

80%保证率 $\geqslant 10^{\circ}\text{C}$ 活动积温 $5 200\text{ (}^{\circ}\text{C} \cdot \text{d)}$ 是“中熟早稻+中熟晚籼”搭配双季稻种植最低积温需求。1961—1980年 $5 200\text{ (}^{\circ}\text{C} \cdot \text{d)}$ 区域零散的分布

在鄂东南的黄石、鄂州、黄冈、浠水一带,以及鄂西南三峡一带的巴东和宜昌附近;1991—2008年 $5 200\text{ (}^{\circ}\text{C} \cdot \text{d)}$ 区域显著增多,鄂东南大部、江汉平

原局部都达到了“中熟早稻+中熟晚籼”搭配标准,鄂东南区域向北延伸了约27 km,江汉平原地区最北达到天门(图4)。80%保证率 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 活动积温 $5\ 300^{\circ}\text{C} \cdot \text{d}$ 是“早熟早稻+迟熟晚梗”搭配双季稻种植最低积温需求。由于该搭配对积温要求较高,

1961—1980年在湖北境内几乎不能种植该搭配方式;1991—2008年在鄂东南和鄂西南有零星积温条件较好的地区可以种植“早熟早稻+迟熟晚梗”搭配的双季稻。

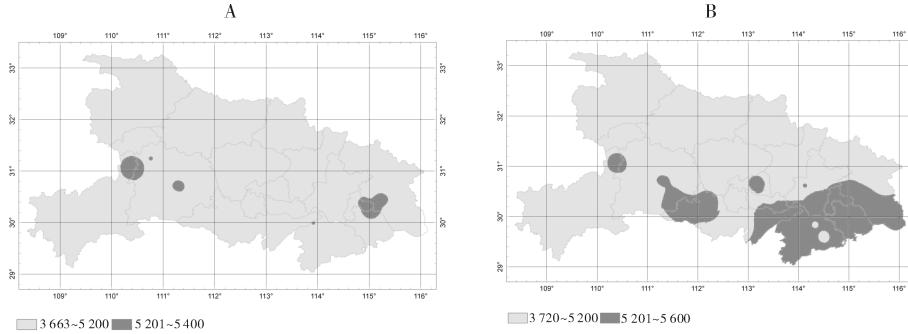


图4 “中熟早稻+中熟晚籼”北界变化( $5\ 200^{\circ}\text{C} \cdot \text{d}$ ,1961—1980(A),1991—2008(B))

Fig. 4 Change of cropping system's northern limits of medium mature early rice and medium mature late rice( $5\ 200^{\circ}\text{C} \cdot \text{d}$ ,1961—1980(A),1991—2008(B))

### 3 讨论

近50年来,湖北省大多数地区稳定通过80%保证率的8、10、12℃初日提前、稳定通过20、22℃终日略推迟,10℃初日至20℃和22℃终日持续日期延长,活动积温增加,但稳定通过20℃、22℃终日在湖北大部双季稻种植区均未通过显著性检验。

气候变化使得湖北省水稻的适宜生长季开始日期提早、安全齐穗终止日期延后,双季稻的安全生长期有所延长,可将种植品种中早熟品种换成生育期相对较长、产量相对较高的中熟或迟熟品种,适当延迟中稻的播种期和移栽期,以避免其在抽穗开花期遭受盛夏高温热害的可能,将有利于提高水稻的单产。

考虑到湖北省适合种植双季稻的地区增多,而稳定通过8、10、12℃初日提前,20、22℃终日推迟,10℃初日至20℃终日积温全省大部呈增加趋势,适宜双季稻栽种的积温分布已向北扩大,可以将湖北省双季稻种植区域适当向北部水源较充足、灌溉条件较好地区推移,提高复种指数,增加粮食总产。

湖北省大部地区水稻生长季气温日较差和早稻、中稻、晚稻灌浆期日较差呈减少趋势,且东部减少趋势大于西部,将对优质稻品质形成带来不利影响。

本文仅对热量资源的变化对湖北水稻生产的影响进行了研究,至于伴随气候变暖发生的其他气候

要素如降水、日照的变化以及干旱、洪涝、高温和低温冷害<sup>[16]</sup>等农业气象灾害的影响而没有考虑,因此尚有待于进一步改进和完善。特别是近年来极端天气气候事件发生频率增加如何造成水稻产量的不稳定性增加,这将是后期研究的重点。

### 参 考 文 献

- 陈正洪. 湖北省60年代以来平均气温变化趋势初探[J]. 长江流域资源与环境, 1998, 7(4): 341-346.
- 刘可群, 陈正洪, 张礼平, 等. 湖北省近45年降水气候变化及其对旱涝的影响[J]. 气象, 2007, 33(11): 58-64.
- 覃军, 张录军, 胡江林. 武汉近百年来气温变化的多时间尺度分析[J]. 气象科学, 2001, 21(2): 206-219.
- 魏宝华, 赵家成, 刘咏燕. 湖北省近46年区域气候变化特征[J]. 三峡大学学报, 2008(s2): 232-234.
- 郑祚芳, 陈家华, 邱文. 湖北省近50年气候变化特征分析[J]. 气象科学, 2002, 22(3): 279-286.
- 谭方颖, 王建林, 宋迎波, 等. 华北平原近45年农业气候资源变化特征分析[J]. 中国农业气象, 2009(1): 19-24.
- 纪恩鹏, 张玉书, 冯锐, 等. 辽宁省农业气候资源变化特征分析[J]. 资源科学, 2007, 29(2): 74-82.
- 曲曼丽. 农业气候实习指导[M]. 北京: 北京农业大学出版社, 1990.
- 陈正洪, 史瑞琴, 陈波. 季节变化对全球气候变化的响应——以湖北省为例[J]. 地理科学, 2009, 29(6): 911-916.
- 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.
- 陈恩谦. 不同类型水稻品种营养生长期的温光效应研究[J]. 植

- 物生理科学, 2005, 21(8):242-244.
- [12] 刘所波. 水稻生产气象条件分析和最佳植期安排[J]. 气象研究与应用, 2009, 30(2):56-59.
- [13] 农业灾害应急技术手册[M]. 武汉: 湖北科学技术出版社, 2009:2.
- [14] 游艾青, 陈亿毅, 陈志军. 湖北省双季稻生产的现状及发展对策[J]. 湖北农业科学, 2009, 48(12):3190-3193.
- [15] 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.
- [16] 杨爱萍, 冯明, 刘安国. 湖北省水稻盛夏低温冷害变化特征分析[J]. 华中农业大学学报, 2009, 28(6):771-775.

## Changing characteristics of heat resources of rice growing seasons in Hubei Province and its impacts on rice production

LIU Min<sup>1</sup> LIU An-guo<sup>2</sup> DENG Ai-juan<sup>1</sup> WAN Su-qin<sup>1</sup> LIU Zhi-xiong<sup>1</sup>

1. Climate Center of Wuhan District, Wuhan 430074, China;

2. College of Plant Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China

**Abstract** Based on the meteorological data of Hubei Province dated from 1961 to 2008, the changing trends of primary heat resource elements of rice including the beginning and terminal day of ambient temperature, the interval days and accumulated temperatures between them, the daily temperature discrepancy during rice growing seasons were analyzed in detail and its impacts on rice production were also discussed. The results showed that the beginning day with daily temperature above 8 °C, 10 °C and 12 °C stably was advanced and the terminal day of 20 °C and 22 °C was delayed. The interval between them was extended and the accumulated temperatures were increased. The interval days and accumulated temperatures from the beginning day of 10 °C to the terminal day of 20 °C and 22 °C were extended and increased in most areas of Hubei Province. It indicated that the suitable stage of rice planting was extended. The daily temperature discrepancy during rice growing season and rice grain-filling stages was decreased, and the decreasing trend of eastern Hubei Province was more remarkable than that of western Hubei Province. Based on the analysis above, measures can be taken to improve unit rice yield by changing early maturing rice with medium or late maturing rice having long growth period and high yield. The area of double-crop rice cultivation can be extended to northern Hubei Province with abundant water and good irrigation, which will effectively increase the total rice production of Hubei Province.

**Key words** rice; agricultural climate resource; heat resource; agricultural temperature limits; accumulated temperature; diurnal temperature difference

(责任编辑:杨锦莲)