

# A Case Study on Overlapped Chilling with Heat Injury on Rice Crop\*

Chong Liu<sup>1</sup>, Changyuan Xiong<sup>2</sup>, Chenyang Wu<sup>1</sup>, Juncheng Lin<sup>1</sup>, Yongping Huang<sup>3</sup>, Yu Xiao<sup>1</sup>,  
Tsutomu Matsui<sup>4</sup>, Xiaohai Tian<sup>1#</sup>

<sup>1</sup>Agricultural School, Yangtze University, Jingzhou

<sup>2</sup>Agricultural Bureau of Jianli, Jianli

<sup>3</sup>Agri-Meteorological Station of Jingzhou, Jingzhou

<sup>4</sup>Applied Biological Faculty, Gifu University, Gifu

Email: #xiaohait@sina.com.cn

Received: Jul. 15<sup>th</sup>, 2013; revised: Aug. 21<sup>st</sup>, 2013; accepted: Aug. 29<sup>th</sup>, 2013

Copyright © 2013 Chong Liu et al. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**Abstract:** Crops are increasingly influenced by abnormal meteorological conditions nowadays. Meanwhile we know little on how the abnormal meteorological factors would impact the crop growth. A rare sterility hazard, a typical damage from abnormal temperature, happened to mid-rice at anthesis stage in Jiangnan Plain, Hubei, China in 2007. But it is bewildering to determine the exact cause for the hazard. We compared the data from field experiment, the varieties tests over the area and the meteorological records across the damaging period to find a possible cause for rice sterility. The result showed that during 20, July to 25, July, some parts of the area had undergone a sharp decrease of temperature, and the daily mean temperature was lower than 20°C exactly and surpassed the chilling damaging point for ear-formation. Meanwhile, from 6 August to 10 August, the time when rice was flowering, a continuous temperature lift happened, namely more than 30°C in daily mean temperature or 35°C in daily maximum temperature. In addition, the varieties that flowered at 6-13 August should undergo their meiosis stage of pollen mother cells in several days after 24 July. By matching the injuries data from the different areas against the meteorological regimes those crops experienced, we concluded with a category map of the areas in rice sterility degree: some are caused mostly by the cold weather; some are mostly by the high temperature weather; and some by an overlapped bad weather, namely cold weather at first at meiosis, then heat at anthesis. Among them, the overlapped type happened at a moderate scale in area but the loss was the biggest. This case suggests that global warming may induce more complex and severer damage to crops, so the countermeasures are urgently needed.

**Keywords:** Rice; Spikelet Sterility; Chilling Stress; Heat Stress

## 水稻组合气象灾害的一个实例研究\*

刘冲<sup>1</sup>, 熊昌元<sup>2</sup>, 吴晨阳<sup>1</sup>, 林俊城<sup>1</sup>, 黄永平<sup>3</sup>, 肖宇<sup>1</sup>, 松井勤<sup>4</sup>, 田小海<sup>1#</sup>

<sup>1</sup>长江大学农学院, 荆州

<sup>2</sup>湖北省监利县农业局, 监利

<sup>3</sup>湖北省荆州市农业气象试验站, 荆州

<sup>4</sup>日本岐阜大学应用生物科学学部, 岐阜

Email: #xiaohait@sina.com.cn

收稿日期: 2013年7月15日; 修回日期: 2013年8月21日; 录用日期: 2013年8月29日

**摘要:** 气候异常变化对作物生产的影响正日趋增大, 但气候异常究竟会以何种方式影响作物生长还鲜见报道。2007年位于江汉平原(以湖北省荆州市为中心)发生罕见的中稻结实障碍, 且田间受害症状表现为典型的高、低

\*基金项目: 国家公益性行业计划(农业)项目(201203029); 科技部国际合作专项项目(2012DFG31740)。

#通讯作者。

温致害症状。通过对田间试验和大范围生产调查,对水稻受害与气候条件之间的关系进行了因果对应分析。结果表明,7月20日~7月25日期间,部分地区有一个罕见的降温过程,日均温低达 $20^{\circ}\text{C}$ ,达到籼稻品种孕穗期敏感温度范围;8月6日~8月10日,部分地区出现一个连续高温天气过程,日均温或最高温度达到日均气温 $\geq 30^{\circ}\text{C}$ 或最高气温 $\geq 35^{\circ}\text{C}$ ,将各地受害程度与气象条件进行比对、综合分析,将本年度中稻结实障碍因不同地区分为3类,分别为低温主导型、高温主导型和低、高温叠加组合型。其中以低、高温叠加组合型危害程度最重,即它既受到减数分裂期的低温危害也受到了开花期的高温危害。此实例启示,全球气候变暖将会给作物生产造成更为复杂和严重的灾害,相应应对技术的研究显得十分紧迫。

**关键词:** 水稻; 结实障碍; 冷害; 热害

## 1. 引言

在全球气候变暖总趋势下,气候变化将如何影响作物的生长,是一个引起国内外越来越重视的新问题<sup>[1,2]</sup>。作物生殖生长期是作物对外界环境反应的敏感期,环境异常可能首先影响作物的生殖生长。但异常环境变化会以一种什么形式来影响作物的生长,现实生产中能见的例子还比较少<sup>[3]</sup>。水稻孕穗-开花期通常对高、低温都比较敏感。其中,我国长江流域的水稻花期高温危害问题近期受到稻作界越来越多的关注,但该地区、该时期的低温危害还鲜见报道<sup>[4-7]</sup>。

2007年8月江汉平原腹地以湖北荆州为中心,发生了大面积罕见的中稻生殖生长期的不育障碍。我们结合自己在湖北荆州长江大学试验农场常年定点试验田的试验及面上大范围、多品种调查,对本次中稻结实障碍的危害程度和基本原因进行了深入探讨,报道如下。

## 2. 试验与调查方法

### 2.1. 田间分期播种试验

试验设在长江大学农学院试验农场,供试品种(组合)为曾经或现行主推杂交稻组合及其父本(恢复系)共12个。试验设置2次重复,小区面积 $2\text{ m} \times 3\text{ m}$ 。试验采用分期播种,从4月12日起分4期、每隔7d进行一次播种,以让各品种能遇上7月下旬至8月中旬的不良天气。试验地土壤为典型的粘壤土,肥力中等。生育期间采用一次全层施肥,氮素肥料为上海汉枫集团提供的硫包衣缓释氮肥(含量39%) $17\text{ kg}/667\text{ m}^2$ ,磷素肥料为过磷酸钙 $40\text{ kg}/667\text{ m}^2$ ,和钾素肥料 $\text{KCl } 10\text{ kg}/667\text{ m}^2$ ,其他管理与当地高产水平田间管理相同。试验采用育苗移栽,秧龄期25d。生殖障碍调

查,在开花当时调查花药裂药状况和柱头授粉数等,在抽穗后30d调查结实状况,每品种随机取连续10穴样(除边行),分穗计数实粒数和总粒数,计算结实率。

### 2.2. 面上调查

#### 2.2.1. 调查区域

调查区域为本年度江汉平原范围内所有报道出现中稻结实障碍的地区。经初步调查后,确定区域为荆州市全域、荆门市部分地区以及武汉市周边地区为本次重点调查区域(图1)。

#### 2.2.2. 面上新品种展示区调查

本调查以调查区域内育种部门、种子管理部门和我们事先设定的“水稻新品种展示场”的品种为调查对象。一般在抽穗后20d左右进行田间调查,将肉眼判断有明显受害症状的品种作为调查取样对象。考虑到水稻孕穗-开花期高低温危害全田分布相对均匀的特点,取样方法为在每一品种田块中央1点取样,每次取连续2穴(含10~20穗)。

#### 2.2.3. 面上农户种植区调查

旨在对江汉平原地区的受害总体状况从技术和总体受害两方面做出评估。调查田块面积不限。调查取样原则和方法同2.2.2。田间调查内容还包括:

- 1) 种植档案,包括地点名称、户主姓名、品种名称、播期、移栽期、抽穗期等。
- 2) 通过询问户主达到是否为完全高温或低温危害,是否为高温加干旱危害,是否有其他原因。

## 2.3. 气象条件

首先调查7月15日~8月20日江汉平原全境内代



Table 1. A farmland survey result of the degrees of suffered rice crops, their spikelet sterility grading/happening areas in Jiangnan Plain, 2007

表 1. 2007 年江汉平原大田条件下不同地区水稻品种结实障碍发生程度统计(面上调查)

地区	级别	调查点数	代表面积 (×1000 m <sup>2</sup> )
荆州市郊	一级(空粒率 > 50%)	2	6
	二级(50% ≥ 空粒率 > 40%)	1	1
	三级(40% ≥ 空粒率 > 30%)	8	11
荆门市	一级(空粒率 > 50%)	3	15
	二级(50% ≥ 空粒率 > 40%)	1	5
	三级(40% ≥ 空粒率 > 30%)	1	12
公安县	一级(空粒率 > 50%)	2	25
	二级(50% ≥ 空粒率 > 40%)	4	81
	三级(40% ≥ 空粒率 > 30%)	9	112
江陵县	一级(空粒率 > 50%)	2	19
	二级(50% ≥ 空粒率 > 40%)	0	-
	三级(40% ≥ 空粒率 > 30%)	0	-

Table 2. A demonstration of rice spikelet sterility for various newly-bred cultivars in different areas of Jiangnan Plain, 2007

表 2. 2007 年江汉平原不同地区新品种展示场水稻结实障碍表现

地区	品种数	障碍品种数	障碍品种率(%)	空粒率(%)	空粒率范围(%)
荆州市近郊	64	47	73.44	34.47 ± 10.77	21.18~71.05
潜江市	47	12	25.53	40.00 ± 10.60	25.98~54.31
武汉市(黄陂区)	48	10	20.83	30.27 ± 11.37	18.29~57.87
石首市	55	17	30.91	25.67 ± 8.50	17.24~43.13
鄂州市	60	15	25.00	28.20 ± 10.14	18.36~60.57
监利县	58	20	34.1	30.67 ± 8.50	19.20~48.13

不同品种间受害差异明显,且受害程度十分严重。但分期播种条件下比较同品种抽穗期“异常条件”和“正常条件”的结实情况,可以看到,少数品种反应强烈,如扬稻 6 号,但目前主要推广的品种如“丰两优 1 号”等,结实率的降低幅度仅在 10% 附近,所受影响不大(表 3)。总体估计江汉平原全域内本次水稻实际受害有限。原因有: 1) 主要受害品种的抽穗期集中在 8 月 6 日~13 日,其它时段抽穗的品种由于避开了灾害,所受影响较小。2) 实际受灾品种面积有限。目前,本地使用的品种中,具有一定抗性的中稻组合如丰两优 1

Table 3. Seedset rate change of cultivars with different sowing dates, showing the same cultivar changed its seedset rate under different meteorological conditions at its flowering stage

表 3. 分期播种条件下品种(组合)的结实率变化,展示了同一品种在不同气象条件下的结实率的变化

品种	正常条件(%)	异常条件(%)
金优 63	85.4 ± 6.7	79.5 ± 11.2
扬稻 6 号	99.1 ± 3.2	61.4 ± 19.2
汕优 63	87.0 ± 6.5	77.5 ± 8.5
丰两优 1 号	90.2 ± 6.2	79.2 ± 13.6
II 优 838	91.0 ± 8.8	88.2 ± 8.8
国丰 1 号	90.6 ± 3.3	-
复恢 838	90.1 ± 6.2	90.5 ± 7.2
II 优 725	83.1 ± 13.8	78.5 ± 9.8
明恢 63	78.8 ± 7.8	66.1 ± 10.4
II 优 084	92.2 ± 7.8	82.5 ± 8.8
两优培九	84.4 ± 8.9	73.3 ± 12.6
红莲优 6 号	79.0 ± 15.4	83.5 ± 12.5

注: 正常条件采用第一播期的结实率,异常条件除两优培九采用第三播期外,其余采用第四播期。国丰 1 号因提前成熟,没有经历异常条件,故无异常条件下的数据。异常条件下的各品种的抽穗期全部处于 8 月 5 日~8 月 9 日之间。

号、II 优 838、汕优 63 的面积还占压倒优势,发生比较严重灾害的为的一部分近年推广的新型杂交组合,特别是一部分超级杂交稻组合(两优 0293 等)。尽管如此,由于少数品种受害较重,根据种子公司年初卖出新品种种子数量估计,整个区域面上损失也达 2~4 亿元。

### 3.2. 受害原因分析

#### 3.2.1. 田间受害呈典型高、低温危害症状

田间水稻出现受害的品种与其抽穗期密切相关,主要受害者的抽穗期集中在 8 月 6~13 日。从田间作物表现来看,稻穗整体上出现均衡的结实障碍,成熟时由于结实率低,一块田中整体上稻穗呈现翘穗头和穗头伸展方向杂乱外貌(图略)。一穗中则表现出与强弱势花部位不一致的随机不育现象(图略)。稻株其它部位生育正常,饱粒为正常黄色而空粒长时间保持浅绿色。此外,试验田观测表明,抽穗期处于 8 月 6 日~13 日的水稻品种的花药开裂率和柱头授粉数急剧下降,并出现授粉数为零的现象(图略)。因此,可以初步判断受害的症状与高、低温引起的危害十分一致。

#### 3.2.2. 大部地区发生高温危害天气

前人对水稻开花期的高温危害的研究表明,日平

均气温  $\geq 30^{\circ}\text{C}$  或日最高气温  $\geq 35^{\circ}\text{C}$  可作为高温危害的指标<sup>[8,9]</sup>。我们通过追踪江汉平原 2003 年水稻花期高温危害大发生年的气象条件和近年田间连续多年高温危害发生实地观测, 得出必要的高温持续日、湿度条件与相应的风速条件相配合导致花期高温危害发生的初步结论<sup>[10,11]</sup>。简而言之, 江汉平原花期高温发生的必要条件是, 符合标准的高温日必须持续 3~5 d 以上, 高温发生日相对湿度较平日明显降低(降低 10%~20%), 风速较小, 平均在 1.5 m/s 以内。本年度出现了一个连续 5 d 的高温过程。江汉平原全域内除荆门外, 在 8 月 6 日~10 日出现了连续 5 d 日平均气温  $\geq 30^{\circ}\text{C}$  或日最高气温  $\geq 35^{\circ}\text{C}$  的天气。但综合考察温度与湿度、风速等因子的配合情况, 其中以位于地理偏南的监利县和洪湖市较典型, 而荆州市等地的高温危害天气并不具有典型性(图 2(a)~(c))。

### 3.2.3. 局部地区发生低温危害天气

前人研究表明, 水稻孕穗期对低温反应十分敏感, 上述敏感期如遇连续 3 d 日平均气温低于  $23^{\circ}\text{C}$  就会出现明显低温危害, 连续 3 d 平均气温低于  $21^{\circ}\text{C}$  就会出现严重低温危害<sup>[12]</sup>。我国广西地区也在大田观察到两个杂交稻在孕穗期遭遇连续 5 d 平均气温低于  $20^{\circ}\text{C}$ ~ $21^{\circ}\text{C}$  的严重受害的报道<sup>[13]</sup>。本年度在 8 月上旬高温之前出现了个罕见的低温过程。7 月 20~7 月 25 日, 以荆门市表现最为突出, 出现了连续 5 d 日平均气温低于  $23^{\circ}\text{C}$ , 日最低气温低于  $22^{\circ}\text{C}$  的天气, 其中连续 3 d 低于  $20^{\circ}\text{C}$ , 处于籼稻类型的低温严重受害范围。荆州市和公安县也出现了连续 4 d 日平均气温低于  $23^{\circ}\text{C}$ , 最低气温低于  $22^{\circ}\text{C}$  的天气, 也处于籼稻类型的低温受害范围(图 3)。但并不涉及荆州市南部的监利、洪湖, 也不涉及武汉周边地区。

### 3.2.4. 低、高温组合危害的可能性成立

从高、低温发生时间的组合可能性上来看, 前人对水稻生殖生长期高、低温危害的研究表明, 水稻对高温反应最敏感的时期在开花期, 而对低温最敏感的时期是幼穗分化期的四分子期至第一收缩期的小孢子初期, 相当于始穗前 8~12 d<sup>[14]</sup>。如以 8 月 6 日始穗的水稻为例, 其低温敏感期应在 7 月 24 日~28 日。由此可见, 同一水稻品种同时遇到 7 月 20 日~25 日低温危害和 8 月 6 日~10 日高温危害的可能性很大(图 1 和图 2)。从实际危害发生情况来看, 如以荆州市为例, 在所有

受灾地区中, 其受害面积大、受害品种比例高、程度重。但如仅从受害条件分析, 则其受低温影响远不如荆门市、而受高温影响又不如监利县和洪湖市。这就只能认定该地区的水稻受前后相继发生的低、高温叠加危害, 从而加重了危害结果。

综合上述分析, 并对照各地区受害程度结果(表 1 和表 2), 可将本年度江汉平原地区中稻结实障碍发生的原因归结成三类(图 1)。1) 低温(减数分裂期)主导类, 以荆门市、钟祥市为代表; 2) 高温(抽穗期)主导类, 以洪湖、监利和武汉市为代表; 3) 先低温(减数

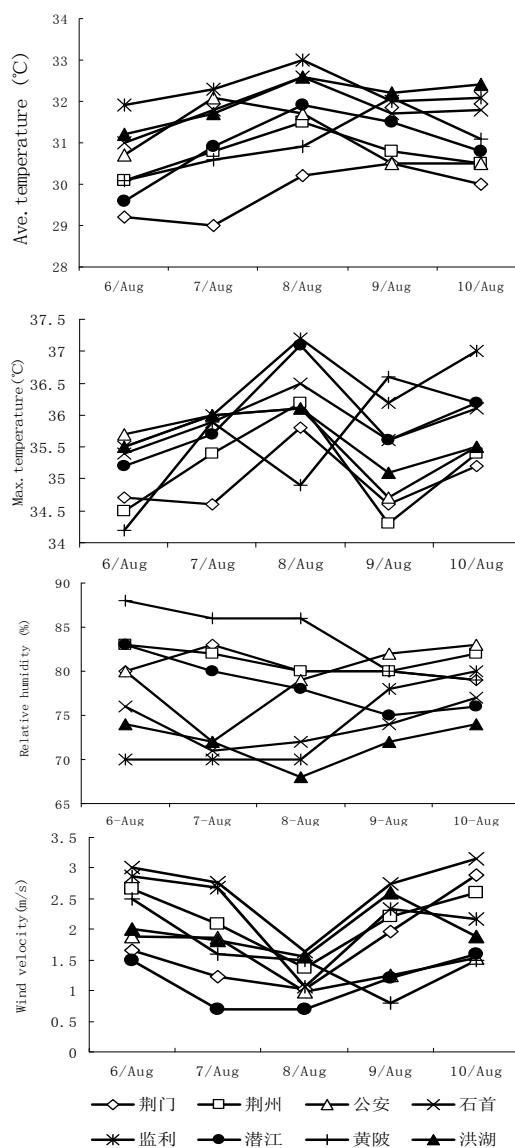


Figure 2 Meteorological factors for different districts in Jianghan Plain at rice flowering stages in 2007, showing the heat stress impact process  
图 2. 2007 年江汉平原不同地区中稻花期高温发生段的气象特征变化

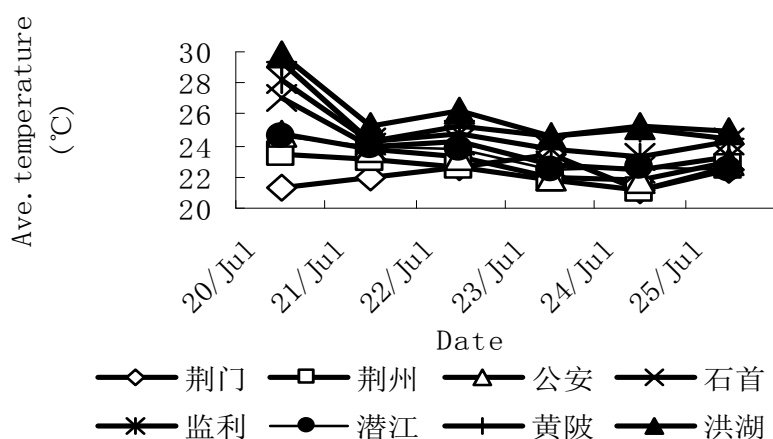


Figure 3. Meteorological factors for different districts in Jianghan Plain at rice reproductive stages in 2007, showing the chilling stress impact process

图 3. 2007 年江汉平原不同地区中稻生殖生长期低温发生段的温度变化

分裂期)后高温(抽穗期)组合类,以荆州及其周边的公安县、潜江市为代表。三个类型中,高温影响面积较大,危害程度中等;低温影响面积较小,危害程度较轻;低、高温组合危害面积居中,但受害程度最重。

#### 4. 讨论

本研究首次报道了一种十分罕见的水稻生殖生长期高、低温组合危害实例。我们将作物在其一生中连续遭受不同气象灾害的现象定义为作物的“组合气象灾害”。本研究表明,“组合气象灾害”可能比一次性气象灾害使作物受害更严重。假设处于“组合气象灾害区”的荆州市,如单独受高温或单独受低温危害,其受害水稻品种数(或比例)和空粒率都不应该大于武汉市或荆门市,而事实恰好相反。可以推测,全球气候变暖不仅会使地球的环境参数发生改变,也会使气候的变化变得越来越剧烈。这就会使作物生育期间的气候条件出现越来越大的波动,从而使“组合气象灾害”的发生成为可能。我们的已有研究表明,江汉平原地区过去 50 年中稻花期危害高温出现的频率并没有明显增加,但出现危害时,相关参数变化的剧烈程度在明显加剧,使重大高温灾害发生的可能性明显增加<sup>[15]</sup>。同时盛夏极少出现的低温天气,其出现的概率也逐渐增高(钟祥已连续 2 年遭遇中稻低温危害)。因此,作物学家有必要认真审视全球气候变暖对作物生产的影响,加紧研究作物的“组合气象灾害”应对策略。同时,对过去有关全球气候变暖对作物生产影响的模拟模型中不考虑天气变化剧烈性和灾害天气增

多等因素的做法,有必要加以修正和完善<sup>[1,2]</sup>。

作物生殖生长期的高、低温危害具有多方面的“同一性”,这是使本研究关于水稻结实障碍原因分析出现“迷局”的一个重要原因。水稻低温危害研究表明,孕穗期的低温直接作用于小孢子分化和发育,造成小孢子分化数减少和发育不良,同时,低温使花药绒毡细胞发育异常,使花药充实不良,从而导致开花时花药开裂不良,花粉数少,花粉活力下降,最终导致不育。水稻花期的高温危害机理虽还不十分清楚,但高温危害出现的结果与低温危害十分相似。此外,水稻孕穗-抽穗期无论是受高温、还是受低温危害后,稻穗在外观上表现完全一样,即空粒在穗上出现不规则(不遵守强、弱勢规则)大量发生,空粒因未受精而长时间保持早期的浅绿色。因此,在田间要将高温和低温造成的危害区分出来是不可能的。

从本年度江汉平原中稻生殖生长期高低温危害发生的程度上来看,大面积基本属于中等程度发生。本研究田间试验和大田调查一致表明,在今年这种特定条件下,品种表现分化的比较清楚,如典型的感性品种空粒率可达 70%,但抗性品种几乎观察不到危害。这一结果为我们进一步提炼“品种高(低)温鉴定条件”提供了机会。同时,大量新品种特别是两系和超级稻新品种对异常温度逆境反应强烈,说明开展对抗性种质资源利用和新品种抗性性能的鉴定工作事关重大、十分紧迫。

#### 5. 致谢

感谢湖南隆平种业有限公司湖北分公司陈尊东

先生、武汉惠华三农种业有限公司吴中华先生、荆州市农业局熊先锋先生、石首市农业局袁本福先生为我们进行相关田间调查给予的大力支持。

## 参考文献 (References)

- [1] H. Nakagawa, T. Horie and T. Matsui. Effects of climate change on rice production and adaptive technologies. In: T.W. Mew, D.S. Brar, S. Peng, D. Dawe and B. Hardy, Eds., *Rice Science: Innovations and Impact for Livelihood*, International Rice Research Institute, 2003: 635-658.
- [2] 王馥棠. 近十年我国气候变暖影响研究的若干进展[J]. *应用气象学报*, 2002, 13(6): 755-765.
- [3] S. Peng, J. Huang, J. E. Sheehy, R. C. Laza, R. M. Visperas, X. Zhong, G. S. Centeno, G. S. Khush and K. G. Cassman. Rice yields decline with higher night temperature from global warming. *PNAS*, 2004, 101(27): 9971-9975.
- [4] 王前和, 潘俊辉, 李晏斌, 唐霖, 任华英, 彭坤伦. 武汉地区中稻大面积空壳形成的原因及防止途径[J]. *湖北农业科学*, 2004, 1: 27-30.
- [5] 王才林, 仲维功. 高温对水稻结实率的影响及其防御对策[J]. *江苏农业科学*, 2004, 1: 15-18.
- [6] 汪寿康, 汪更文, 汪又佳. 2003年水稻高温热害得调查[J]. *安徽农学通报*, 2004, 10(1): 27-35.
- [7] 夏明元, 戚华雄. 高温热害对四个不育系配制的杂交组合结实率的影响[J]. *湖北农业科学*, 2004, 2: 21-22.
- [8] 田小海, 松井勤, 李守华, 林俊城. 水稻花期高温胁迫研究进展与展望[J]. *应用生态学报*, 2007, 18(11): 2632-2636.
- [9] S. Yoshida, T. Satake and D. S. Mackill. High temperature stress in rice. *International Rice Research Institute*, 1981, 67: 1-15.
- [10] T. Matsui, X. Tian. Heat induced floret sterility in rice: Mechanism of occurrence and tolerance. *International Workshop "Cool Rice for a Warmer World"*, Wuhan, 26-30 March 2007, 11-13.
- [11] T. Matsui, K. Kobayasi, M. Yoshimoto, et al. Stability of rice pollination in the field under hot and dry conditions in the Riverina region of New South Wales, Australia. *Plant Production Science*, 2007, 10: 57-63.
- [12] 梁光商. *水稻生态学*[M]. 北京: 农业出版社, 1983: 196-202.
- [13] 吴晓信. 低温对两系稻的影响分析[J]. *广西农学报*, 2007, 22(3): 30-31.
- [14] H. Hayase, T. Satake, I. Nishiyama and N. Ito. Male sterility caused by cooling treatment at the meiosis stage in rice plants. *Proceedings of the Crop Science Society of Japan*, 1969, 38: 706-711.
- [15] 李守华, 田小海, 黄永平, 刘爱英. 江汉平原近 50 年中稻花期危害高温发生的初步分析[J]. *中国农业气象*, 2007, 28(1): 5-8.