

长江中下游水稻开花灌浆期气象要素与结实率和粒重的相关性分析

赵海燕¹, 姚凤梅^{1,2}, 张勇^{1,2,3}, 徐宾¹, 袁静¹, 胡亚南¹, 许吟隆¹

(¹中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所, 北京 100081; ²中国科学院研究生院, 北京 100039; ³中国科学院大气物理研究所, 北京 100029)

摘要: 【目的】通过历史分析, 揭示已发生的气候变化对长江中下游水稻生产的影响, 为适应气候变化背景下不断增加的高温危害提供依据。【方法】应用 1981~2003 年长江中下游的湖北、湖南、安徽、江西、江苏和浙江的 48 个早稻和 30 个中稻站点的水稻常规观测及同期的气象观测数据, 利用 SAS 软件建立水稻开花期、乳熟前期和乳熟后期平均最高气温和日降水量与空壳率、秕谷率和千粒重的统计回归关系, 分析水稻各生育期气象要素对水稻生产的影响。【结果】早稻的空壳率随着各个生育期平均最高气温的升高而减小, 随着平均日降水量的增加而增大; 中稻空壳率与开花期的气象要素关系明显, 它随着开花期的平均日降水量和平均最高气温的升高而升高; 早、中稻秕谷率都随着乳熟后期平均日降水量的增加而增大, 随着平均最高气温的升高而减小; 早稻千粒重与乳熟前期和乳熟后期的平均最高气温呈正相关, 与乳熟前期和乳熟后期的平均日降水量呈负相关。中稻千粒重与乳熟后期的日降水量呈负相关, 与乳熟后期的平均最高气温呈正相关。【结论】对早稻产生负面影响的是整个生殖生长期的过量降水, 对中稻产生负面影响的是开花期和乳熟后期的持续高温或阴雨天气。与全球变暖相应的长江中下游高温危害主要影响的是中稻, 对早稻影响较小。

关键词: 平均最高气温; 平均日降水量; 空壳率; 秕谷率; 千粒重

Correlation Analysis of Rice Seed Setting Rate and Weight of 1000-Grain and Agro-meteorology over the Middle and Lower Reaches of the Yangtze River

ZHAO Hai-yan¹, YAO Feng-mei^{1,2}, ZHANG Yong^{1,2,3}, XU Bin¹, YUAN Jing¹, HU Ya-nan¹, XU Yin-long¹

(¹Institute of Environment and Sustainable Development in Agriculture, Chinese Academy of Agricultural Sciences,

Beijing 100081; ²Graduate University of Chinese Academy of Science, Beijing 100039;

³Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029)

Abstract: 【Objective】 The purpose of this study is to reveal the effects of historic climate change on rice yield over the middle and lower reaches of the Yangtze River and to better adapt to climate change in the future. 【Method】 This study presents the relation of temperature and precipitation and rice components from 1981–2003 at 48 early rice stations and 30 middle rice stations. It focuses on an analysis of three stages-flowering, pre-milk and late milk. 【Result】 The results show that mean maximum temperature and mean daily precipitation at the stages of flowering and pre-milk are most related to early rice yield. And yield change of middle rice is mainly due to mean precipitation change at the flowering stage. Furthermore, percentage of undeveloped grain increases as mean maximum rises at the flowering stage. 【Conclusion】 Over precipitation in the reproductive stage is a major reason to reduce yield of early rice. Consecutive rainfall and continuous high temperature can have negative effects on middle rice yield. Global warming would affect middle rice more seriously than early rice.

Key words: Mean maximum temperature; Mean daily precipitation; Percentage of undeveloped grain; Percentage of partially developed grain; Weight of 1000-grain

收稿日期: 2005-11-17; 接受日期: 2006-03-20

基金项目: 国家“十五”科技攻关计划课题(2004BA611B-02)

作者简介: 赵海燕(1980-), 山西晋城人, 硕士研究生, 研究方向为气候变化的农业影响评价。通讯作者许吟隆(1964-), 男, 河北成安人, 研究员, 博士, 研究方向为中国区域气候变化情景的构建与农业影响评估。Tel: 010-68919766; E-mail: xuyi@ami.ac.cn

0 引言

【本研究的重要意义】政府间气候变化专门委员会第三次评估报告认为：全球平均地面气温自 19 世纪以来上升了 $(0.6\pm 0.2)^{\circ}\text{C}$ ，伴随平均气温的升高是极端高温事件的增加^[1]。中国长江流域江苏、湖北、湖南和安徽四省高温日数和高温日平均最高气温均呈上升趋势^[2]。高温事件的增加会给水稻生产带来更大的风险^[3-6]。另一方面，改革开放以来，随着城市化的发展，中国耕地面积不断下降，以长江流域为例，其耕地总面积由 1949 年的 2919.53 万公顷到 1998 年减少到 2575.29 万公顷，下降了 11.8%^[7]，水稻产量的上升主要依赖于水稻单产的增加。本文旨在通过历史分析，揭示全球变暖背景下气候变化对长江中下游地区水稻产量构成要素的影响，为适应高温危害提供理论依据。

【前人研究进展】长江中下游的高温事件对水稻的主要影响在开花期和灌浆期。以空壳率 30% 作为定粒结实率的受害指标，当抽穗后 1~5 d 内的平均日均温高于 $29\sim 30^{\circ}\text{C}$ ，平均日最高气温 $\geq 35^{\circ}\text{C}$ ，水稻即可受到危害。这是因为开花期高温会影响花药开裂，降低花粉寿命，从而导致授精率下降。水稻灌浆适宜温度是 $22\sim 28^{\circ}\text{C}$ ， 35°C 是结实率的伤害温度，可以引起秕粒早衰，缩短灌浆持续期^[8-20]。阴雨天气也会影响水稻结实率。抽穗后 5 d 内有 ≥ 3 d 降水量 $\geq 5\text{ mm}\cdot\text{d}^{-1}$ 就会危害水稻结实。这是因为开花期的连续阴雨会使颖花退化和降低正常颖花的授精率^[13,21]。【本研究切入点】以往研究多是在试验条件下进行，而田间环境下的研究一般是针对县或区的小范围、短时期和单一品种的研究^[22-26]。在气候变化领域，气候变化对农业的影响多局限于产量，主要研究内容是气候波动与产量的变化关系以及气候模式与作物模型相结合模拟气候变化与产量的关系。但气候变化如何影响产量构成要素的研究较少。本文选取长时间序列（1981~2003）长江中下游的湖北、湖南、安徽、江西、江苏和浙江的 48 个早稻和 30 个中稻站点，从生育期的角度分析抽穗期和乳熟期的平均最高气温和平均日降水量与空壳率、秕谷率和千粒重的相关性，从较微观的层面分析了气候变化对水稻产量构成因子—结实率和千粒重的影响。【拟解决的关键问题】本文对气象要素和水稻产量构成要素（空壳率、秕谷率和千粒重）进行相关性分析，旨在为揭示全球变暖背景下影响长江中下游地区水稻产量变化的机理，为适应措施的选择提供科学依据。

1 材料与方法

本文所用资料包括：湖北、湖南、安徽、江西、江苏和浙江等六省 48 个早稻和 30 个中稻站点的 1981~2003 年的生育期（抽穗始期、抽穗普期、抽穗末期）和产量构成要素（空壳率、秕谷率、千粒重）及相应各站点的逐日最高气温和降水量。图 1 是本文的研究站点。样本量共 1 362 个，均属籼稻。其中早稻样本 872 个，332 个品种；中稻样本 490 个，126 个品种。



图 1 水稻站点分布图

Fig. 1 Distribution of rice stations

首先根据抽穗始期和抽穗末期，计算开花期（抽穗始期前 2 d 至抽穗末期后 5 d）、乳熟前期（抽穗始期后 6 d 至抽穗末期后 10 d）、乳熟后期（抽穗始期后 11 d 至抽穗末期后 15 d）的日最高气温和日降水量，然后对 3 个生育期的日最高气温和日降水量与早、中稻空壳率、秕谷率和千粒重进行相关性分析。

2 结果与分析

2.1 气象要素对早、中稻空壳率的影响

早稻空壳率与开花期、乳熟前期、乳熟后期 3 个时期的平均最高气温呈负相关，与平均日降水量呈正相关，且达到 0.01 的显著性水平（图 2）。早稻从开花

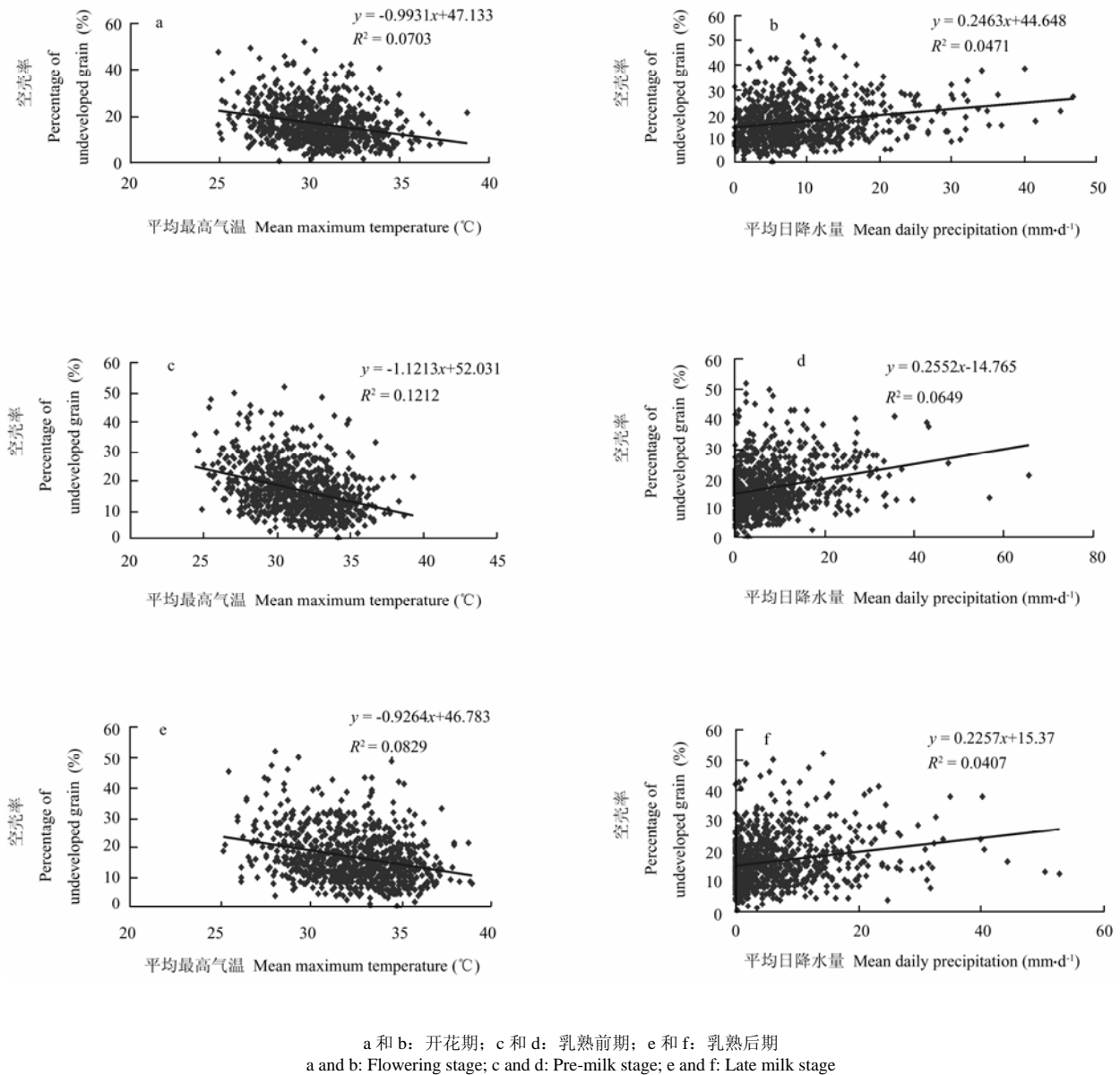


图 2 早稻空壳率与各生育期气温和降水量的相关性

Fig. 2 The relationship between percentage of undeveloped grain of early rice and weather data at three stages

期到乳熟后期在 6 月中旬至 7 月中旬，长江中下游处在梅雨季节，降水多，气温正常或偏低，日最高气温一般不超过 35℃。气温低，水稻出穗慢，而且还会出现包茎现象；另一方面，低温条件下，水稻开花非常分散，花期拉长，受粉量不足，导致受精率低，空壳率高。所以，早稻空壳率随着平均最高气温的升高而减小，随着日降水量的增加而增大。

中稻空壳率与开花期、乳熟前期、乳熟后期的平均最高气温和平均日降水量呈正相关（图 3），与开花期和乳熟前期平均日降水量的相关系数达到 0.05 显著

水平。

安徽、江苏的中稻的抽穗和乳熟期在 7 月下旬至 8 月下旬，湖北、湖南中稻的抽穗和乳熟期在 8 月中旬至 9 月中旬，该时段内平均降雨量 3.78~4.48 mm·d⁻¹，比早稻对应生育期低 2.46~4.18 mm·d⁻¹。该时段大于 35℃ 的高温天气发生频率较大。日最高气温达到 35℃，花药开裂和花粉寿命都将受到影响，最终导致授精率低。所以，空壳率随着日降水量和平均日最高气温的增加而增大。但是，空壳率与平均日最高气温的相关性未达到 0.05 显著性水平，可能是由于不

同品种对气象要素响应的差异性减弱了气象要素和空壳率的相关性。

日降水量和最高气温都会影响水稻空壳率，尤其是开花期。不管是早稻，还是中稻，开花期的平均日降水量与空壳率都呈正相关，而开花期最高气温对早、中稻的影响则不同：对早稻而言，空壳率随着开花期的平均最高气温的升高而降低；对中稻则随着开花期的平均最高气温的升高而升高。

2.2 气象要素对早、中稻秕谷率的影响

影响早稻秕谷率的主要气象因素是乳熟后期的平均降水量和平均最高气温，与前者呈正相关，与后者呈负相关，且达到 0.05 显著性水平（图 4）。中稻同样和乳熟后期的平均降水呈正相关，和平均最高气温呈负相关，但和平均最高气温的相关性未达到 0.05 显著性水平（图 5）。

秕谷率是籽粒灌浆是否正常的一个指标。籽粒灌浆是光合作用产物向籽粒运输和干物质不断积累的过程。低温多雨一方面会使光合产物减少，另一方面低温也会使运输系统受阻，导致籽粒灌浆不足，秕谷率上升。

2.3 气象要素对早、中稻千粒重的影响

结实灌浆期，尤其是乳熟期是决定千粒重的主要时期。水稻灌浆的适宜温度为日均温 22~28℃，高温促使籽粒灌浆加速，有效灌浆期缩短，籽粒充实度降低；较低的温度有利于延长灌浆期，对千粒重有利。图 6 显示，早稻千粒重与乳熟前期和乳熟后期的平均最高气温呈正相关，与乳熟前期和乳熟后期的平均日降水量呈负相关。而且千粒重与平均最高气温相关性达到 0.05 显著水平。这说明，影响早稻千粒重的主要气象因素是整个乳熟期的平均日最高气温，而平均日降水量是次要影响因素。

中稻千粒重与乳熟后期的日降水量呈负相关，乳熟后期的平均最高气温呈正相关。但是，其相关性均未达到 0.05 显著水平。可能原因是本研究未考虑光照条件，而光照不足将会减弱光合作用，使籽粒充实度降低^[20]。

3 讨论

长江中下游水稻的生长季在夏季，降水多而且不均匀。梅雨期的阴雨天气使得早稻结实率下降，千粒

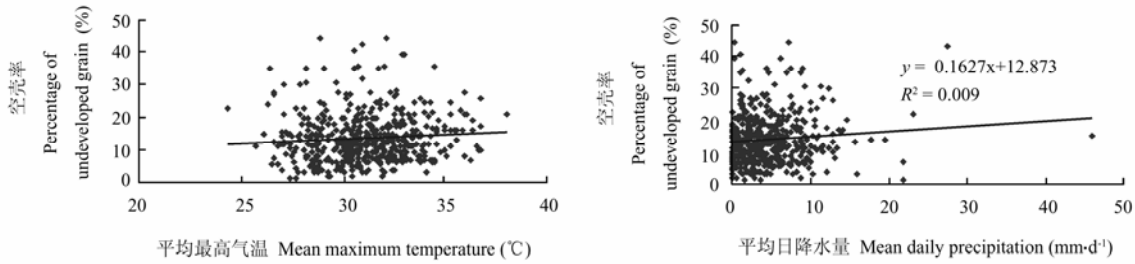


图 3 中稻空壳率与开花期气温和降水量的相关性

Fig. 3 The relationship between percentage of undeveloped grain of middle rice and weather data at flowering stage

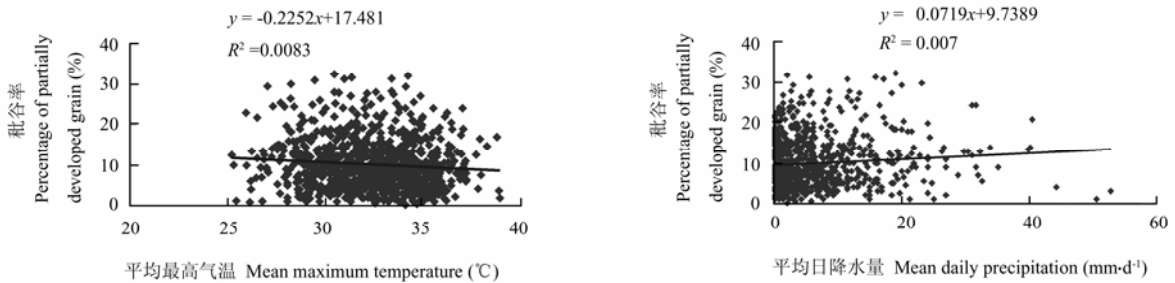


图 4 早稻秕谷率与乳熟后期气温和降水量的相关性

Fig. 4 The relationship between percentage of partially developed grain of early rice and weather data at late milk stage

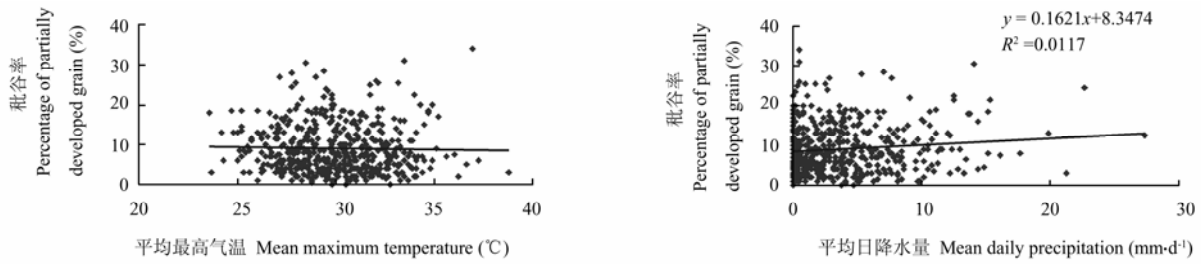


图5 中稻秕谷率与乳熟后期气温和降水量的相关性

Fig.5 The relationship between percentage of partially developed grain of middle rice and weather data at late milk stage

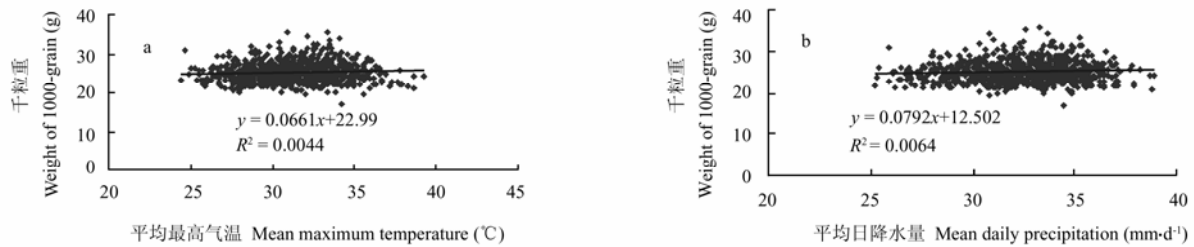


图6 早稻千粒重与乳熟前期 (a) 乳熟后期 (b) 和平均最高气温的相关性

Fig. 6 The relationship between thousand grains weight of early rice and mean maximum temperature at pre-milk stage (a) and late milk stage (b)

重减小。梅雨期过后西太平洋副热带高压控制的时段内，长江中下游地区盛行上升气流，高温少雨。该时期内的持续高温给中稻带来负面影响。

日降水量和最高气温都会影响水稻空壳率。早稻空壳率随着各个生育期的平均最高气温的升高而降低，平均日降水量的上升而上升；开花期的气象要素是影响中稻空壳率的关键因子，空壳率随着平均日降水量的增加而增加，与早稻不同的是，中稻空壳率随着开花期的平均最高气温的升高而增加。已有研究表明，阴雨天气影响早稻开花及授精，而开花期持续高温是中稻空壳率大幅升高的主要原因^[15,21,22]。

影响早稻秕谷率的主要气象因素是乳熟后期的平均日降水量和平均最高气温，与前者呈正相关，与后者呈负相关；中稻秕谷率随着乳熟后期平均日降水量的升高而增大，随着乳熟后期平均最高气温的升高而减小。但是，秕谷率和乳熟后期的平均最高气温的相关性未达到 0.05 显著水平，相关性不及早稻秕谷率和乳熟后期的平均最高气温显著。

早稻千粒重随着乳熟前期和乳熟后期的平均最高气温的升高而增加，随着平均日降水量的增加而降低；

中稻千粒重与乳熟后期的日降水量呈负相关，与乳熟后期的平均最高气温呈正相关，但相关性均未达到 0.05 显著水平。有关研究表明，持续高温对水稻千粒重的影响是负面的^[4-6]。但是，本文的样本乳熟期遭遇高温的频率较低，所以，全球变暖对长江中下游早、中稻千粒重的影响不大。

对于中稻空壳率、秕谷率和千粒重与气温的相关性不显著问题，这可能是由于空壳率、秕谷率和千粒重作为水稻产量构成要素，它们的影响因素是多方面的，包括内在的遗传和生理因素与外在的生态和栽培技术因素。虽然本文所选品种都是籼稻，它们有着某些相似的遗传特性，本文所选早稻的空壳率、秕谷率和千粒重与最高气温的相关性都达到了 0.05 显著水平，这些相关性充分说明籼稻对气温的响应是比较一致的。但是中稻所选不同品种的结实率和千粒重对气温和降水响应仍然存在差别，这说明应该考虑更多因素对中稻秕谷率和千粒重的影响，包括气象因素（如光照）和非气象因素（如土壤湿度）的作用等。今后的工作应当进行多因子相关性分析。

4 结论

通过以上分析可以得出,对早稻产生负面影响的是生殖生长期的阴雨天气,气温升高对早稻的影响是有利的。早稻空壳率 $\geq 30\%$ 的频率分别是7.0%。早稻开花期、乳熟前期和乳熟后期日平均降雨量 $\geq 10\text{ mm}$ 的发生频率分别是31.5%,29.0%和20.7%;而开花期、乳熟前期和乳熟后期 $\geq 35^\circ\text{C}$ 平均最高气温的发生频率仅有2.0%,7.3%和15.2%。所以,生殖生长期的降水对空壳率贡献率更大。

开花期和乳熟后期的阴雨天气和持续高温通过增加空秕率对中稻产生负面影响。中稻空壳率 $\geq 30\%$ 的频率是3.9%。虽然中稻开花期和乳熟后期日平均降雨量 $\geq 10\text{ mm}$ 的发生频率分别是8.6%和9.0%;但开花期 $\geq 35^\circ\text{C}$ 平均最高气温的发生频率亦有4.0%、2.0%。所以,开花期和乳熟后期的气温、降水对中稻空壳率都非常重要。

全球变暖条件下长江中下游温度升高趋势将主要影响中稻产量。中稻开花期平均最高气温 $\geq 35^\circ\text{C}$ 的发生频率是4.0%,是早稻开花期平均最高气温 $\geq 35^\circ\text{C}$ 的发生频率的两倍多。 $\geq 35^\circ\text{C}$ 的极端高温使中稻空壳率大大增加。所以,全球变暖对长江中下游的影响主要是中稻,对早稻影响较小。随着将来气候变暖的加剧,长江中下游地区高温发生频率会更加频繁,研究避免高温对水稻危害的适应措施具有重要意义。

致谢: 本文气象和水稻观测数据由中国气象局气象信息中心气象资料室提供,在此表示衷心的感谢!

References

- [1] Houghton J T, Ding Y, Griggs D J, Noguera M, Linden P J, Dai X, Maskell K, Johnson C A. *Climate Change 2001: The Scientific Basis*. London: Cambridge University Press, 2001: 26.
- [2] 许吟隆,赵海燕,姚凤梅,张勇,徐宾,胡亚南,袁静.长江中下游高温事件对中稻产量构成要素影响的统计分析. *中国农业气象*, 2005,25(增刊): 20-23.
Xu Y L, Zhao H Y, Yao F M, Zhang Y, Xu B, Hu Y N, Yuan J. Statistical analysis of impacts of high temperature events on rice yield components over middle and lower reaches of the Yangtze River. *Chinese Journal of Agrometeorology*, 2005,25(Suppl.): 20-23. (in Chinese)
- [3] Satake T, Yoshida S. High temperature-induced sterility in Indica rices at flowering. *Japanese Journal of Crop Science*, 1978, 47(1): 6-17.
- [4] 上海市生理研究所人工气候室. 高温对早稻开花结实的影响及其防治. I. 高温对早稻灌浆-成熟期的影响. *植物学报*, 1976, 18(3): 250-256.
The Phytotron, Shanghai Institute of Plant Physiology. The influence of high temperatures on flowering and fruiting of early rice I. The influence of high temperature on the fruiting from milky stage to ripening stage. *Acta Botanica Sinica*, 1976, 18(3): 250-256. (in Chinese)
- [5] 上海植物生理研究所人工气候室. 高温对早稻开花结实的影响及其防治. II. 早稻开花期高温对开花结实的影响. *植物学报*, 1976, 18(4): 323-329.
The Phytotron, Shanghai Institute of Plant Physiology. The influence of high temperatures on flowering and fruiting of early rice. II High temperature sensitivity of flowering and fruiting of early rice. *Acta Botanica Sinica*, 1976, 18(4): 323-329. (in Chinese)
- [6] 上海市生理研究所人工气候室. 高温对早稻开花结实的影响及其防治. III. 早稻开花结实对高温伤害的敏感期. *植物学报*, 1977, 19(2): 126-131.
The Phytotron, Shanghai Institute of Plant Physiology. The influence of high temperatures on flowering and fruiting of early rice. III High temperature sensitivity of flowering and fruiting of early rice. *Acta Botanica Sinica*, 1977, 19(2): 126-131. (in Chinese)
- [7] 虞孝感. 长江流域可持续发展研究. 北京: 科学出版社, 2003: 77-82.
Yu X G. *Persistent Development Study of the Yangtze River*. Beijing: Science Press, 2003: 77-82. (in Chinese)
- [8] 太华杰,姚克敏,刘文泽,娄秀容. 中国农业气象情报概论. 北京: 气象出版社, 1994: 146.
Tai H J, Yao K M, Liu W Z, Lou X R. *Introduction of China Agro-meteorology Information*. Beijing: China Meteorology Press, 1994:146. (in Chinese)
- [9] Kim H Y, Horie T, Nakagawa H, Wada K. Effects of elevated CO₂ concentration and high temperature on growth and yield of rice. I. The effect on development, dry matter production and some growth characteristics. *Japanese Journal of Crop Science*, 1996, 65: 634-643.
- [10] Kim H Y, Horie T, Nakagawa H, Wada K. Effects of elevated CO₂ concentration and high temperature on growth and yield of rice. II. The effect on yield and its components of Akihikari rice. *Japanese Journal of Crop Science*, 1996, 65: 644-651.
- [11] Matsui T, Omasa K, Horie T. High temperature-induced spikelet sterility of Japonica rice at flowering in relation to air temperature, humidity and wind velocity conditions. *Japanese Journal of Crop Science*, 1997, 66: 449-455.
- [12] Imai K, Okamoto-Sato M. Effect of temperature on CO₂ dependence of gas exchanges in C₃ and C₄ crop plants. *Japanese Journal of Crop*

- Science*, 1991, 60: 139-145.
- [13] 陶炳炎, 汤志成, 彭钊安, 张定琪. 杂交水稻与气象. 南京: 江苏科学技术出版社, 1983: 52-54.
Tao B Y, Tang Z C, Peng Z A, Zhang D Q. *Hybrid Rice and Meteorology*. Nanjing: Jiangsu Science and Technology Press, 1983: 52-54. (in Chinese)
- [14] 解平强, 龙国炳, 李卓吾, 徐秋生. 亚种间杂交稻 F₁ 代结实率的气候生态条件研究初报. 湖南农业科学, 1989, (3): 7-8.
Xie P Q, Long G B, Li Z W, Xu Q S. Primary analysis of climatic ecological conditions and ripening rate of subspecies of hybrid rice F₁. *Hunan Agricultural Science*, 1989, (3): 7-8. (in Chinese)
- [15] 刘云开, 夏胜平, 罗先富, 李文忠. 高温对一季稻结实率与产量的影响及其防御技术. 中国农学通报, 2005, 21(3): 155-158.
Liu Y K, Xia S P, Luo X F, Li W Z. Effect of high temperature on seed setting rate and yield and its defense technique in single-cropping late rice. *Chinese Agriculture Bulletin*, 2005, 21(3): 155-158. (in Chinese)
- [16] 杨建昌, 朱庆森, 王志琴, 朗有忠. 亚优 2 号结实率与谷粒充实率的研究. 江苏农学院学报, 1994, 15(4): 14-18.
Yang J C, Zhu Q S, Wang Z Q, Lang Y Z. A study on the setting percentage and grain filling percentage of Yayou 2. *Journal of Jiangsu Agriculture College*, 1994, 15(4): 14-18. (in Chinese)
- [17] 谭中和, 蓝泰源, 任昌福, 方文. 杂交水稻开花期高温危害及对策研究. 作物学报, 1985, 11(2): 103-108.
Tan Z H, Lan T Y, Ren C F, Fang W. Harm of high temperature on hybrid rice and its countermeasure. *Acta Agronomica Sinica*, 1985, 11(2): 103-108. (in Chinese)
- [18] 黄义德, 曹流俭, 武立权, 严平, 陈多璞, 杨安中. 2003 年安徽省中稻花期高温热害的调查与分析. 安徽农业大学学报, 2004, 31(4): 385-388.
Huang Y D, Cao L J, Wu L Q, Yan P, Chen D P, Yang A Z. Investigation and analysis of heat damage on rice at blossoming stage in Anhui Province in 2003. *Journal of Anhui Agricultural University*, 2004, 31(4): 385-388. (in Chinese)
- [19] 王昌华, 张燕之, 周毓珩, 邹吉承. 杂交水稻结实率问题综述. 辽宁农业科学, 2000, (1): 41-43.
Wang C H, Zhang Y Z, Zou Y H, Zhou J C. Review of ripening of hybrid rice. *Liaoning Agricultural Sciences*, 2000, (1): 41-43. (in Chinese)
- [20] 郑志广. 光温条件对水稻结实及干物质生产的影响. 北京农学院学报, 2003, 18(1): 13-16.
Zheng Z G. The influence of temperature and light on grain-filling, dry matter production of rice. *Journal of Beijing Agricultural College*, 2003, 18(1): 13-16. (in Chinese)
- [21] 张玉焯, 张桂和, 朱国奇, 邓启云, 詹庆才. 阴雨对早稻开花及受精结实的影响. 中国水稻科学, 1995, 9(3): 173-178.
Zhang Y Z, Zhang G H, Zhu G Q, Deng Q Y, Zhan Q C. Effects of overcast and raining on flowering, fertilizing and seed setting of early rice. *Chinese Journal of Rice Science*, 1995, 9(3): 173-178. (in Chinese)
- [22] 李成德. 高温导致水稻出现大量空壳分析. 陕西农业科学, 2003, (5): 45-47.
Li C D. Analyses of high temperature and undeveloped grain. *Shaanxi Journal of Agricultural Sciences*, 2003, (5): 45-47. (in Chinese)
- [23] 何寿仁. 南丰县早稻产量波动的气象因子分析. 江西气象科技, 1999, 22(3): 30-31.
He S R. Climatic conditions analyses of early rice yield fluctuation at Nanfeng. *Jiangxi Meteorological Science and Technology*, 1999, 22(3): 30-31. (in Chinese)
- [24] 邹丽云. 影响云南水稻产量的灾害分析. 中国农业气象, 2002, 23(1): 12-15.
Zhou L Y. Analysis of disasters influencing paddy yield in Yunnan. *Chinese Journal of Agrometeorology*, 2002, 23(1): 12-15. (in Chinese)
- [25] 王定平, 唐晋, 李润发. 气象条件对杂交水稻开花结实期的影响. 陕西气象, 2000, (1): 18-20.
Wang D P, Tang J, Li R F. Effects of climatic conditions on hybrid rice at flowering and grain filling stages. *Journal of Shaanxi Meteorology*, 2000, (1): 18-20. (in Chinese)
- [26] 姜秀荣, 侯英雨. 全国晚稻气候年景评价方法研究. 气象, 2003, 29(2): 21-25.
Lou X R, Hou Y Y. Evaluation method of national late rice climate year's harvest. *Meteorology*, 2003, 29(2): 21-25. (in Chinese)

(责任编辑 张淑兰)