

曾凯, 周玉, 宋忠华. 气候变暖对江南双季稻灌浆期的影响及其观测规范探讨[J]. 气象, 2011, 37(4): 468-473.

气候变暖对江南双季稻灌浆期的影响及其观测规范探讨^{*1}

曾 凯¹ 周 玉² 宋忠华²

1 江西省农业气象试验站, 南昌 330200

2 湖南省长沙农业气象试验站, 长沙 410125

提 要: 通过对南方的江西、湖南、湖北 3 省 4 个台站双季水稻灌浆期气温及发育进程观测, 以及千粒重、灌浆速度的加密观测, 发现近 16 年来江南双季早稻、双季晚稻、一季稻生殖生长期的平均气温均升高 2 °C 左右, 早、晚稻抽穗—乳熟期天数缩短了 6 天左右, 早、晚稻抽穗—成熟期天数分别缩短了 6 天左右和 5 天左右。气候变暖伴随着水分胁迫, 回归分析显示, 灌浆期天数与生殖生长期平均气温呈显著负相关, 与平均相对湿度呈显著正相关关系。这些变化造成按中国气象局《农业气象观测规范》取得的千粒重、灌浆速度样本数减少, 仅能反映灌浆后期状况。因此, 针对气候变暖造成江南水稻发育进程加快, 灌浆期缩短的现实, 观测规范应作相应调整。建议将千粒重、灌浆速度的起测日提前到抽穗普期当日或第 5 日, 保持 5 天观测间隔, 增强观测数据的可用性及气象服务的有效性。

关键词: 气候变暖, 生育期, 灌浆, 千粒重, 观测

Effects of Climatic Warming on the Date of Grain Filling of Rice in the South of Yangtze River and Its Monitoring Regulation

ZENG Kai¹ ZHOU Yu² SONG Zhonghua²

1 Agrometeorological Experiment Station of Jiangxi Province, Nanchang 330200

2 Changsha Agrometeorological Experiment Station of Hunan Province, Changsha 410125

Abstract: Based on the intensive observations of temperature and development course during grain filling period, weight per 1000 seeds, and grain filling rate of double harvest paddy rice at different agrometeorological stations from three southern provinces of China, it was founded out that average temperatures during the reproductive growth periods of double-harvest early paddy rice, double-harvest late paddy rice, and single-harvest paddy rice increased by 2 °C in recent years. The decrease in the duration of heading-milk of early and late paddy rice was about 6 days and the duration of heading-mature decreased by about 6 days for early paddy rice and 5 days for late paddy rice. Climate warming usually happened with water stress. The number of the days for grain filling was significantly negatively correlated with average temperature and positively correlated with average relative humidity, identified by regression analysis. Climate warming resulted in the decrease in the sampling numbers of weight per 1000 seeds and grain filling rate taken from the Monitoring Regulation of Agrometeorology currently used. These measurements can only indicate the status of rice at the late stage of grain filling. The results also indicated that climatic warming has caused the earlier development and shorter duration of grain filling of rice in the south of the Yangtze River. The Monitoring Regulation of Agrometeorology has to be modified. The first time for measuring the weight of

* 江西省气象科技创新基地基金(GCX200907), 中国气象局小型建设项目和中国气象局生态监测站建设试点项目共同资助
2010 年 2 月 5 日收稿; 2010 年 6 月 4 日收修定稿
第一作者: 曾凯, 从事生态环境与农业气象研究工作. Email: cowin18@163.com

per 1000 seeds and grain filling rate should be shifted to the day of universal heading or 5 days after universal heading. Thus, the observation should be taken every 5 days to enhance the applicability of the measured data and the availability of service.

Key words: climatic warming, development stage, grain filling, weight per 1000 seeds, observation

引言

我国南方是水稻主产区,气候变化使得产量具有不稳定性。联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)报告^[1]指出,全球气候呈变暖趋势,极端气象灾害发生频繁。气候变暖亦对我国粮食生产造成较大影响^[2],气温升高导致我国水稻及冬小麦生育期显著缩短,光合作用和干物质积累时间减少,部分地区产量和品质可能下降^[3-8]。因此,关注气候变化对南方粮食生产关键期的影响,有效开展灌浆期的气象服务十分必要。

目前,国内就气候变暖与作物生长模型^[4-6]、生育期变化与减产^[3-11]、农业气候带北移与热量水分矛盾^[2,12]、气候变化各要素对农业影响的权重^[9]等开展了分析研究;同时,适应气候变化、采用恰当的方法对其影响进行真实有效的监测^[13]亦受到重视。我国南方水稻主产区的产量形成关键期常遇高温逼熟、旱涝、病虫等灾害,且受全球气候变化影响,产生了作物发育期进程变化及其监测等新问题,影响到农业气象服务的时效、产品分析的依据等。本研究试图通过对南方双季稻作区多省的水稻生育期、干物质积累及气象的观测,研究气候变暖对南方水稻生殖生长期长短、千粒重进程、灌浆速度带来的影响;并针对中国气象局《农业气象观测规范》提出相应的修改建议,以增强观测资料的可用性及气象服务的时效性。

1 材料与方法

1994—2009年在南昌进行了双季水稻的发育期、千粒重、灌浆速度及同期气象要素观测试验,同时收集了湖南长沙、湖北江夏、江西樟树农业气象站1994—2006年观测的双季水稻物候与气象资料作为辅助分析。2009年又在江西南昌和莲花分别安排了早晚稻千粒重、灌浆速度的加密观测。实验品种分别为禾盛10号、赣晚粳37、金优402、五丰优998、汕优63、鄂早17、优I402、丰优丝苗,均为当地

主栽品种,在研究时间内无人选择品种特性改变。

试验选择当地开阔连片、具有代表性的双季稻农田作为固定观测地段,分4个区设4个重复,每个重复连续固定5穴用于发育期观测。全生育期两天观测一次,抽穗开花期每天观测。抽穗普期为50%的茎的穗顶由剑叶叶鞘露出,乳熟为穗顶子粒达到正常谷粒大小、颖壳充满乳浆状内含物、子粒呈绿色,成熟为稻穗80%~90%谷粒呈现该品种固有的颜色。抽穗开花期对4个区同日开花、穗大小相仿的200穗挂牌定穗,供千粒重、灌浆速度测定使用,取样从开花后10天开始每5天取样,测子粒干物质重,以5天的千粒重之差除以5计算灌浆速度。本试验另加测了抽穗普期当日千粒重,并在5天间隔内适当增加了取样次数。早稻共加测5次、晚稻加测2次,以获得较平滑连续的灌浆过程曲线,用于观察千粒重、灌浆速度起测时间的合理性。平均气温、平均相对湿度等根据各站地面测报资料统计。气温、湿度、发育期天数的分析图表中,用Excel添加的线性趋势线,以直观反映各要素的倾向率。千粒重、灌浆速度图表用Excel添加的2阶数多项式趋势线,以便直观观察灌浆过程。

2 结果与分析

2.1 早稻灌浆成熟期气温、生育期天数

南方早稻灌浆成熟期的气温近年来普遍升高,灌浆天数缩短明显。南昌双季早稻灌浆成熟期(抽穗普期—成熟)平均气温由过去的26℃左右上升到28℃左右(图1)。与此同时,早稻抽穗—乳熟、抽穗—成熟的发育进程显著加快。其中,早稻抽穗普期—乳熟天数由过去的13天左右缩短到近年的7天左右、最少时仅需5天即达乳熟状态;而抽穗普期—成熟天数也相应由27天缩短到21天左右。以Excel拟合的线性趋势线来看,早稻生殖生长期平均气温以每年0.142℃的倾向率上升,抽穗—乳熟、抽穗—成熟天数则分别以每年-0.485、-0.447天的倾向率下降。总体看,早稻生殖生长期有缩短趋势,实际可灌浆天数较历史减少,灌浆速度较历史

加快,较短的灌浆期若遇气象灾害将对产量有更显著的影响。

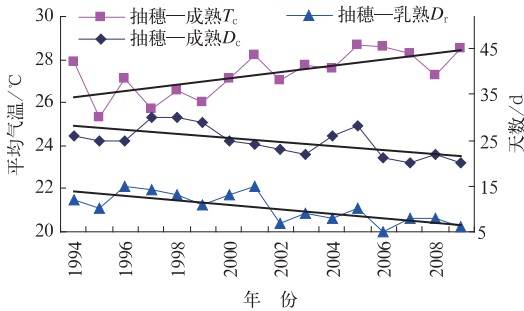


图 1 南昌早稻灌浆期平均气温(T_c), 抽穗—乳熟和抽穗—成熟天数(D_r, D_c)

Fig. 1 Days of heading-mature and heading-milk and the mean temperature during the grain filling period of early paddy rice at Nanchang

早稻灌浆期天数受气温的影响显著。通过回归分析发现,抽穗—乳熟天数(D_r)与相应期间平均气温(T_r)呈显著的负线性相关($D_r = 49.547 - 1.441T_r, R = 0.550, F = 6.076, P = 0.027$);抽穗—成熟天数(D_c)与同期间平均气温(T_c)亦呈显著的负线性相关($D_c = 72.812 - 1.758T_c, R = 0.554, F = 6.204, P = 0.026$),反映出可用于子粒干物质积累的时间随气候变暖而缩短。

湖南、湖北、江西其他台站的观测,也证实随着早稻生殖生长期平均气温的升高灌浆期相应缩短。由图 2 可见,湖南长沙、湖北江夏、江西樟树早稻抽穗—成熟平均气温(T)向上波动;抽穗—成熟天数(D)则反向波动。长沙、江夏、樟树早稻生殖生长期

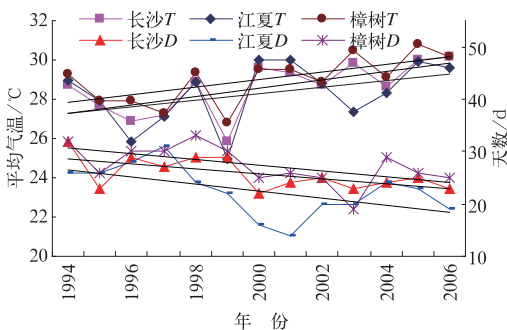


图 2 长沙、江夏、樟树早稻灌浆期平均气温(T)和抽穗—成熟天数(D)

Fig. 2 Days of heading-mature and the mean temperature during the grain filling period of early paddy rice at stations Changsha, Jiangxia and Zhangshu

平均气温以每年 $0.210, 0.161$ 和 $0.198\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的倾向率上升,上升幅度均强于南昌;抽穗—成熟天数则分别以每年 $-0.489, -0.670, -0.544$ 天的倾向率下降,下降幅度也都大于南昌。将长沙、江夏、樟树早稻生殖生长期平均气温与抽穗—成熟天数分别进行线性回归分析,显著水平设为 0.1 ,三站均有显著相关关系:

$$\text{长沙: } D_c = 61.174 - 1.239T_c, R = 0.529, \\ F = 4.274, P = 0.063$$

$$\text{江夏: } D_c = 67.341 - 1.584T_c, R = 0.533, \\ F = 4.358, P = 0.061$$

$$\text{樟树: } D_c = 71.814 - 1.532T_c, R = 0.498, \\ F = 3.621, P = 0.084$$

2.2 晚稻灌浆成熟期气温、生育期天数

南方双季晚稻灌浆成熟期气温也表现为逐步升高特点,相应灌浆期缩短。南昌双季晚稻抽穗—成熟平均气温由过去的 $21\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右上升到 $23\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上(图 3)。抽穗—乳熟天数由 15 天左右缩短到近年的 9 天左右,最少为 7 天;抽穗—成熟天数由 36 天左右减少到 31 天左右。以 Excel 拟合的线性趋势线来看,晚稻生殖生长期平均气温以每年 $0.173\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的倾向率上升,抽穗—乳熟、抽穗—成熟天数则分别以每年 -0.544 和 -0.407 天的倾向率下降。气温和抽穗—乳熟天数的倾向率比早稻略大。南昌抽穗—乳熟天数与该期间气温呈极显著负相关($D_r = 47.766 - 1.511T_r, R = 0.811, F = 26.994, P = 0.000$),即灌浆期随气温升高显著缩短。从图 4 可见,湖南长沙、湖北江夏、江西樟树的双季晚稻的抽穗—成熟期平均气温逐步向上波动,抽穗—成熟天数则反向波动。长沙、江夏、樟树晚稻生殖生长期平均气温以每年 $0.180, 0.146$ 和 $0.161\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的倾向率上升,抽穗—成熟天数则分别以每年 $-0.335, -1.060$ 和 -0.264 天的倾向率下降,江夏下降幅度最大。将长沙、江夏、樟树晚稻生殖生长期平均气温与抽穗—成熟天数分别进行线性回归分析,显著水平设为 0.1 ,三站均有显著相关关系:

$$\text{长沙: } D_c = 49.094 - 2.409T_c, R = 0.749, \\ F = 14.098, P = 0.003$$

$$\text{江夏: } D_c = 111.786 - 3.397T_c, R = 0.636, \\ F = 7.454, P = 0.020$$

$$\text{樟树: } D_c = 85.688 - 2.026T_c, R = 0.505, \\ F = 3.768, P = 0.078$$

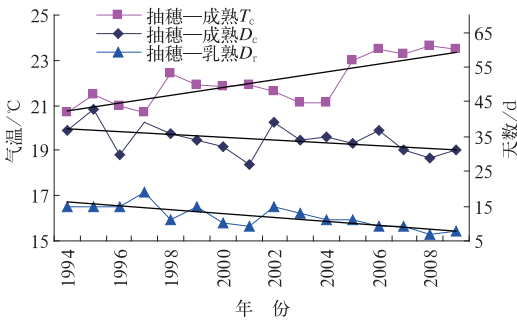


图 3 南昌晚稻灌浆期平均气温(T_c), 抽穗—乳熟和抽穗—成熟天数(D_c, D_m)

Fig. 3 Days of heading-mature and heading-milk and the mean temperature during the grain filling period of late paddy rice at Nanchang.

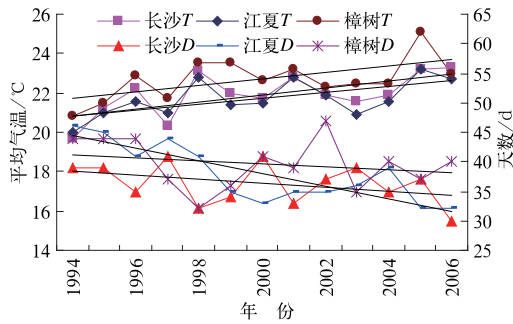


图 4 长沙、江夏、樟树晚稻灌浆期平均气温(T)和抽穗—成熟天数(D)

Fig. 4 Days of heading-mature and the mean temperature during the grain filling period of late paddy rice at stations Changsha, Jiangxia and Zhangshu

南方以双季稻种植为主,所选台站的观测亦为双季水稻。未掌握一季稻生长发育的完整数据,但统计一季稻生殖生长期的平均气温,也发现有升高趋势(由过去的 24 和 25 °C,上升到 26 °C 左右)。可以说,南方水稻均面临气候变暖与减灾、顺应气候变化的问题。南方早稻和晚稻生殖生长期的气温增高,实际可灌浆天数的减少等问题,也发生在我国小麦、玉米等其他粮食作物上^[5-6,8],说明气候变暖对我国粮食作物的生殖生长带来的影响具有一定普遍性。

2.3 气温、湿度变化与灌浆成熟期天数

江南气候变暖常伴随水分胁迫,双季稻生殖生长期降水近年总体上有所下降,但各年差异很大,南昌早稻生殖生长期最多降水量大于 500 mm,但生殖生长期总降水量为 10~80 mm 的早年达 3 年;

晚稻生殖生长期最高降水大于 400 mm,但总降水量为 20 mm 左右早年达 7 年。该期间降水量由于时间分布不均及当地灌溉条件等问题,与生殖生长期天数没有很好的对应关系。另一方面,气温的上升伴随着空气湿度的下降,可以影响土壤水分蒸散,导致作物水分亏缺。从本试验来看,在近 16 年来,水稻生殖生长期的气温持续上升,空气湿度则持续下降,而生殖生长期亦对应缩短。各站生殖生长期气温均与抽穗—成熟天数有显著负相关关系,而多数台站相对湿度与抽穗—成熟天数有显著正相关关系,但不如气温的相关关系普遍。以灌浆成熟期气温的升高为基本特征,及与之相伴出现的湿度下降,造成了生殖生长加快。

从图 5 可见,近年来南昌双季稻生殖生长期平均空气相对湿度与抽穗—成熟天数同呈下降态势(早稻相对湿度下降倾斜率为每年-1.104%、晚稻为-0.850%),高温低湿天气造成了生殖生长加快。相对湿度与抽穗—成熟天数回归方程分别为:

$$\text{南昌早稻: } D_c = 0.706 + 0.305U_c, R = 0.507, \\ F = 4.854, P = 0.045$$

$$\text{南昌晚稻: } D_c = 5.836 + 0.391U_c, R = 0.500, \\ F = 4.673, P = 0.048$$

图 6 为南方 3 省其他台站双季稻生殖生长期平均空气相对湿度曲线,均为下降状态,与前述图 2 和图 4 中各站抽穗—成熟天数的下降相对应。长沙、江夏、樟树早稻生殖生长期平均相对湿度分别以每年-0.533%,-0.473%和-0.593%的倾向率下降,晚稻分别以每年-0.720%,-0.456%和-0.780%的倾向率下降,与南昌情况相近。将长沙、江夏、樟树早稻生殖生长期平均相对湿度与抽穗—成熟天数分别进行线性回归分析,显著水平为 0.1,三站早稻均有显著正相关关系:

$$\text{长沙早稻: } D_c = -1.829 + 0.348U_c, R = 0.525, \\ F = 4.182, P = 0.066$$

$$\text{江夏早稻: } D_c = -20.876 + 0.546U_c, R = 0.550, \\ F = 4.767, P = 0.052$$

$$\text{樟树早稻: } D_c = -7.906 + 0.452U_c, R = 0.603, \\ F = 6.291, P = 0.029$$

晚稻仅长沙、樟树与南昌类似,江夏同期相对湿度与抽穗—成熟天数没有显著相关关系:

$$\text{长沙晚稻: } D_c = -5.451 + 0.522U_c, R = 0.585, \\ F = 5.731, P = 0.036$$

$$\text{樟树晚稻: } D_c = -0.752 + 0.526U_c, R = 0.504, \\ F = 3.747, P = 0.079$$

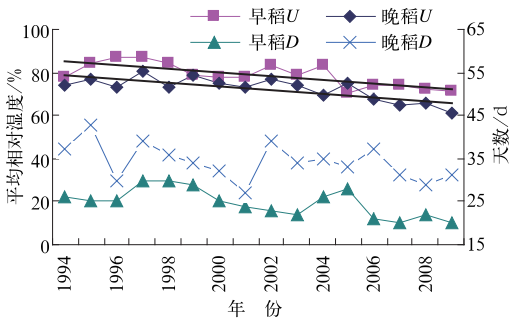


图5 南昌双季稻灌浆成熟期平均相对湿度和抽穗—成熟天数

Fig. 5 Days of heading-mature and the mean relative humidity during the grain filling period of double-harvest paddy rice at Nanchang

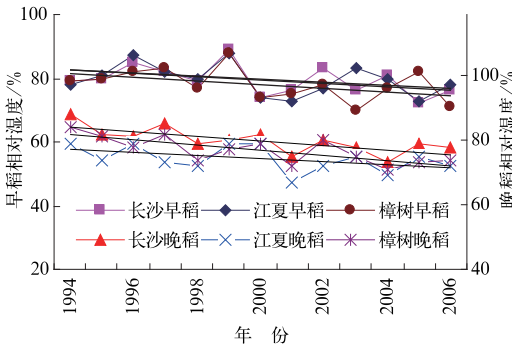


图6 长沙、江夏、樟树双季稻灌浆成熟期平均相对湿度

Fig. 6 The mean relative humidity during the grain filling period of double-harvest paddy rice at stations of Changsha, Jiangxia and Zhangshu

2.4 气候变暖与灌浆过程观测

千粒重是水稻光合作用的成果,反映生殖生长状况,可用于分析干物质积累与气象条件的关系,鉴定减灾对策的效应,掌握一定条件下作物产量形成的过程及其特点,评定光能利用率等。气象部门因防灾减灾服务需要,在农业气象观测业务中长期开展生殖生长期的千粒重、灌浆速度观测。中国气象局编制的《农业气象观测规范》中规定^[14]:谷类作物灌浆速度,是通过测量子粒形成至成熟期间单位时间子粒干物质的增长量,以间隔5天的千粒重之差除以5天来计算。具体为开花期对同日开花、大小相仿的穗挂牌定穗,用于千粒重、灌浆速度测定;取样从开花后10天开始每5天取样直至成熟为止。在气候变暖的大背景下,南方水稻生殖生长期普遍缩短,灌浆期对气象灾害也更为敏感。灌浆成熟期

是水稻产量形成关键期,获得真实完整的千粒重、灌浆速度数据对于鉴定气象条件、开展防灾减灾服务有着基础性作用。由于《农业气象观测规范》规定的测定起始日为开花后第10天,在灌浆期缩短的情况下,所获得的千粒重、灌浆速度样本减少。且起测日在气候变暖的形势下显得过迟,南方早稻常常在抽穗开花普期后5~7天达到乳熟,晚稻常在7~9天达到乳熟。起测日落在乳熟期之后,则测定价值大为下降,对于早稻尤其如此。

图7和图8给出了在《农业气象观测规范》基础上加密观测的千粒重、灌浆速度曲线。如果按照规范于抽穗普期后第10日起每5天测一次,早稻仅可以获得3个千粒重、2个灌浆速度值(在图中仅为右侧1/2部分),无法形成千粒重、灌浆速度真实曲线,测定时段已接近灌浆后期及成熟期,不能及时揭示

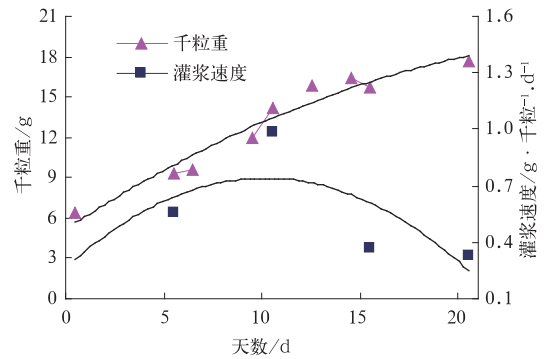


图7 南昌2009年早稻抽穗普期起测的千粒重、灌浆速度

Fig. 7 Measured weight per 1000 seeds and grain filling rate of early paddy rice after universal heading at Nanchang in 2009

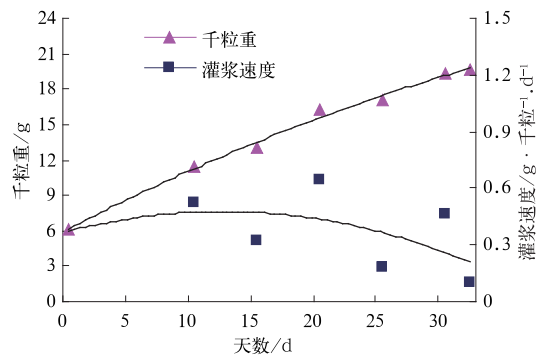


图8 江西莲花2009年晚稻抽穗普期起测的千粒重、灌浆速度

Fig. 8 Measured weight per 1000 seeds and grain filling rate of late paddy rice after universal heading in 2009 at Lianhua, Jiangxi Province

气象条件对水稻生产的影响,不利于迅速采取减灾措施开展气象服务。晚稻灌浆期因为气温是逐步下降的,灌浆时间相对长一些,从抽穗普期第10日起测可获得5个千粒重、4个灌浆速度样本,数据稍完整。只有将起测时间提前至抽穗普期当日或第5日,才能恢复千粒重、灌浆速度的观测价值;同时保留5天观测的间隔,既维护历史观测数据的连续性又兼顾数据的现实可用性,达到提高气象服务效果的目的。

3 小结与讨论

近年来,我国长江中下游呈变暖趋势,水稻(双季稻、一季稻)的生殖生长期平均气温16年来普遍升高 2°C 左右,且高温伴发水分胁迫。水稻进入乳熟、成熟期加快,水稻灌浆关键期的抽穗—乳熟天数明显缩短(早晚稻平均缩短6天左右),早、晚稻抽穗—成熟期亦相应缩短6天及5天左右,灌浆期天数与生殖生长期气温呈现出显著负相关、与相对湿度呈显著正相关。光合作用、干物质积累时间的缩短,使产量形成期对气象条件更为敏感,高温逼熟、旱涝、病虫害等灾害对产量更易造成较大影响;江西省农业气象试验站在试验中曾测得,生育期缩短若遇较重高温逼熟等天气可造成稻米粗脂肪等品质参数显著下降。在这样的形势下,制定减灾对策时要求快捷高效,因而服务难度加大。准确掌握水稻生长发育及干物质积累进程,是判别气象条件利弊、及时制作服务产品的基础。中国气象局《农业气象观测规范》为观察子粒干物质积累与气象条件的关系起到了重要作用,各地气象部门已积累了10~20年的历史资料。但随着南方气候变暖、发育期提前及生殖生长期缩短造成可测样本明显减少,原《农业气象观测规范》的千粒重、灌浆速度测定时间过晚(特别是双季早稻),难以鉴定农业气象条件对产量形成的

利弊影响,因此原《农业气象观测规范》应适应气候变化作相应调整。建议将千粒重、灌浆速度起测时间提前到抽穗普期当日或第5日,测定间隔仍保持5天,既保持资料的连续性,又兼顾现阶段观测资料的可用性,以保证农业气象服务的有效性。

参考文献

- [1] IPCC. Climate Change Fourth Assessment Report[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.
- [2] 刘颖杰,林而达. 气候变暖对中国不同地区农业的影响[J]. 气候变化研究进展, 2007, 3(4): 229-233.
- [3] 郑建初,张彬,陈留根,等. 抽穗期高温对水稻产量构成要素和稻米品质的影响及其基因型差异[J]. 江苏农业学报, 2005, 21(4): 249-254.
- [4] 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.
- [5] 张建平,赵艳霞,王春乙,等. 气候变化情景下东北地区玉米产量变化模拟[J]. 中国生态农业学报, 2008, 16(6): 1448-1452.
- [6] 张宇,王石立,王馥棠. 气候变化对我国小麦发育及产量可能影响的模拟研究[J]. 应用气象学报, 2000, 11(3): 264-270.
- [7] 张建平,赵艳霞,王春乙,等. 气候变化对我国华北地区冬小麦发育和产量的影响[J]. 应用生态学报, 2006, 17(7): 1179-1184.
- [8] 张谋草,赵满来,张红妮,等. 气候变化对陇东塬区冬小麦生长发育及产量的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2005, 23(5): 232-235.
- [9] 张明捷,王运行,赵桂芳,等. 濮阳冬小麦生育期气候变化及其对小麦产量的影响[J]. 中国农业气象, 2009, 30(2): 223-229.
- [10] 闰淑琴. 玉米籽粒灌浆速度研究进展[J]. 杂粮作物, 2006, 26(4): 285-287.
- [11] 韩芳,李兴华,苗百岭,等. 气候变化对内蒙古小叶杨叶芽开放期的影响[J]. 气象, 2010, 36(1): 91-96.
- [12] 黄中艳,朱勇. 1954-2007年云南农业气候变化研究[J]. 气象, 2009, 35(2): 111-118.
- [13] 王芳,葛全胜,陈洋勤. IPCC评估报告气温变化观测数据的不确定性分析[J]. 地理学报, 2009, 64(7): 828-838.
- [14] 国家气象局. 农业气象观测规范[M]. 北京: 气象出版社, 1993.