

基于气候适宜度的一季稻产量预报模式研制——以安徽省桐城市为例

孔令帅, 江胜国, 张斗胜 (桐城市气象局, 安徽桐城 231410)

摘要 [目的]针对不同发育时期段建立一季稻产量趋势及定量预报方程。[方法]依据1981~2010年桐城市一季稻实产数据及全生育期对应时段的基本气象资料,利用直线滑动均值和调和权重法分离处理气象产量,引入气候适宜度模式,采用相关系数分析分时段筛选出桐城一季稻产量的气象影响因子,结合逐步回归方法建立预报方程。[结果]通过试报及检验,得出90%的年份相对误差值为-3%~3%,只有3个年份相对误差绝对值>3%,2011、2012年试报的相对误差分别为-1.1%、3.7%。[结论]首次将气候适宜度作为气象影响因子引入预报模式,使得预报结果更加精确,效果令人满意,完全满足业务化要求,可以业务使用,尤其可针对不同发育时期段适时开展为农服务工作,意义较大。

关键词 一季稻;产量预报;模式;桐城

中图分类号 S165 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2015)36-286-03

Study on the Forecasting Model of Single-season Rice Yield Based on Climatic Suitability——Taking Tongcheng of Anhui Province as An Example

KONG Ling-shuai, JIANG Sheng-guo, ZHANG Dou-sheng (Tongcheng Meteorological Bureau, Tongcheng, Anhui 231410)

Abstract [Objective] The research aimed to establish the single-season rice production trends and quantitative prediction equations for the different developmental stages. [Method] According to single-season rice yield and the meteorological data of the corresponding period of the whole growth period in Tongcheng from 1981 to 2010, the meteorological output was separated by using linear sliding mean and harmonic weight. The introduction of climate suitability model, single-season rice yield meteorological factor was screened in different time periods by correlation analysis, the prediction equations was established by stepwise regression method. [Result] Through trial and test report, the relative error of 90% years was -3% to 3%, only 3 years was >3%. And the relative errors of the 2011 and 2012 years was -1.1%, 3.7% respectively. [Conclusion] For the first time, the climate suitability was introduced into the forecast model, which made the forecasting results more precise and satisfactory. It can meet the requirements of the business and can be used in the business.

Key words Single-season rice; Yield forecasting; Model; Tongcheng

一季稻主要分布在我国秦岭、淮河以北,长江流域北部以及四川盆地和云贵高原,是安徽省的主要粮食作物之一,占水稻种植总面积的70%以上^[1],在农业结构中占有很大比重。关于其产量形成及预报研究目前国内已有很多模式方法^[2-5],如龙继锐^[2]以节氮高效栽培为目标,采用大阳试验方式,开展了一系列超级杂交稻节氮增效栽培试验研究,主要研究超级杂交一季稻产量形成和氮肥施用之间的联系;钟楚等^[3]则从一季稻不同熟性和品种以及农艺措施等方面着手,研究其产量形成与气象因子之间的联系;赵海燕等^[4]通过水稻开花灌浆期气象要素与结实率和粒重的相关性分析来寻找产量形成的关键因子;研究最多的是以郑志广^[6]为代表的从其生长的光温条件,结合不同生育期对产量形成的贡献率。但随着气象条件的区域性得到越来越多的关注,目前现有的产量预报模式已经达不到精细化以及业务服务的需求。气候适宜度的概念由张建军等^[7]提出,得到了比较广泛的认可,那么其与作物产量的形成到底存不存在某种联系,能不能通过不同生育期的气候适宜度来预报其产量形成,以及基于气候适宜度的产量预报精度能不能满足实际的业务服务的需求,针对这些问题,笔者主要研究基于气候适宜度的一季稻产量预报方程,以安徽省桐城市为例,通过不同生育期阶段的气象条件分析,更有针对性地为农业生产提供指导意见,尽量减少或避免不利天气因子的影响,实现农民利益的最大化,更好地体现桐城作为气象为农服务“两个

体系”试点县的职能作用。

1 资料与方法

1.1 资料来源 1981~2010年桐城市一季稻实产数据,取自桐城市统计局;一季稻全生育期对应时段的基本气象资料,取自桐城市国家基准气候站;模式所涉及技术指标等均来自《一季稻气象条件定量评价等级》地方标准[DB34]^[7]。

1.2 分析方法 采用直线滑动均值和调和权重法分离处理气象产量,引入气候适宜度模式,采用相关系数分析分时段筛选出桐城一季稻产量的气象影响因子,结合逐步回归分时段建立一季稻产量趋势及定量预报方程,依据作物产量预报模式 $Y = Y_t + Y_m$ 还原得到定量预报值。

1.2.1 直线滑动均值法。利用桐城市1981~2010年一季稻单产资料,取平滑区间 k 为5,由 $Y_{(i)} = \frac{1}{k} \sum_{t=i-k+1}^{i+k-1} Y_{(t)}$ 得出5年滑动趋势产量,分离出气象产量。

1.2.2 调和权重法。调和权重法就是把已知时间序列 $y_{(i)}$ 诸点的折线进行平滑并作为实际趋势项的某种近似,采用一元线性回归处理,得出各折线区间每一年的 $Y'_{(i)}$,再用公式 $\bar{Y}_{(i)} = \sum Y'_{(i)} / l$ 得出调和权重处理的气象产量,分离出气象产量,其中 l 为调和权重步长。

通过综合比较(图1),运用调和权重法分离出的气象产量相对稳定可靠,在此依据调和权重法分析得到产量预报方程,预报相对气象产量 $y = \frac{Y - Y_t}{Y_t} \times 100\%$,式中, y 为相对气象

产量, Y 为当年实产, Y_t 为模拟趋势产量。

1.3 气候适宜度的计算

1.3.1 温度适宜度。温度适宜度计算公式为 $S_i(t) =$

基金项目 安庆市课题项目“桐城市一季稻产量预报模式研制”。
作者简介 孔令帅(1989-),男,江苏连云港人,工程师,从事农业气象等综合气象服务相关研究。
收稿日期 2015-11-25

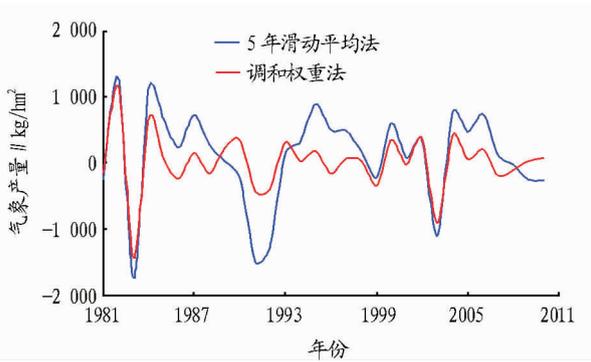


图1 2种方法分离出的气象产量对比

$\frac{(T-T_1)(T_2-T)^B}{(T_0-T_1)(T_2-T_0)^B} = \frac{T_2-T_0}{T_0-T_1}$, 式中, $S_i(t)$ 代表某旬的温度适宜度, T 代表某旬的平均气温, T_0 代表某生育阶段的最适温度, T_1 代表某生育阶段的最低气温, T_2 代表某生育阶段的最高温度^[7]。

1.3.2 降水适宜度。 降水适宜度计算公式为 $S_i(r) = \begin{cases} R/R_0 & R < R_0 \\ R_0/R & R \geq R_0 \end{cases}$, 式中, $S_i(r)$ 代表某旬的降水适宜度, R 代表某旬的降水量(mm), R_0 代表某旬的作物需水量^[7]。

1.3.3 日照适宜度。 日照适宜度计算公式为 $S_i(s) = \begin{cases} e^{-[(s-S_0)/b]^2} & S < S_0 \\ 1 & S \geq S_0 \end{cases}$, 式中, $S_i(s)$ 代表某旬的日照适宜度, S 代表某旬的平均日照时数(h), S_0 代表可照时数的70%(h), b 为与 S_0 有关的常数^[7]。

1.3.4 气候适宜度。 某旬的气候适宜度计算公式为 $S_i = \sqrt[3]{S_i(t)S_i(r)S_i(s)}$, 式中, S_i 代表某旬的气候适宜度, $S_i(t)$ 代表某旬的温度适宜度, $S_i(r)$ 代表某旬的降水适宜度, $S_i(s)$ 代表某旬的日照适宜度。

1.4 因子普查筛选 利用一季稻全生育期时段桐城市国家基准气候站采集到的基本气象要素, 结合一季稻气象条件定量评价等级指标, 采用相关系数分析分时段筛选出桐城一季稻产量的气象影响因子。

2 结果与分析

2.1 模式研制结果 根据分时段筛选出的桐城市一季稻产量的气象影响因子(表1~2), 采用逐步回归模型进行权重系数拟合, 可以得出分时段一季稻产量趋势预报以及定量预报方程。

2.1.1 第1次产量趋势预报方程。 此方程为 $y_i = -58.7859 - 0.2696X_1 + 0.3203X_2 - 0.1021X_3 + 1.6044X_4 + 4.1065X_5$, 式中, y_i 为第1次预测的相对气象产量趋势, i 为对应的预测年份, X_1 代表第 i 年前一年的相对气象产量, X_2 代表当年6月上旬相对湿度, X_3 代表当年4月下旬平均降水量(平均降水量为降水总量与对应降水日数的比值), X_4 代表当年6月中旬平均最低气温, X_5 代表当年5月下旬降水适宜度。分别计算该方程的全相关系数 $R = 0.768$, $R_{0.01} = 0.641$, $R > R_{0.01}$; 标准误差 $\sigma = 0.746$, 平均精度 $c = (1 - \frac{|\sigma|}{100})$

$\times 100\% = 99.3\%$; $F = 6.897$, $F_{0.01} = 3.895$, $F > F_{0.01}$ 。由此可见, 该方程的回归效果较好。

表1 第一次产量趋势预报主要气象影响因子

因子	相关系数	显著性水平 α
上年气象产量	-0.471 2	0.05
6月上旬相对湿度	0.438 4	0.05
4月下旬平均降水量	-0.330 9	0.05
6月中旬平均最低气温	0.376 8	0.05
5月下旬降水适宜度	0.316 5	0.05
6月下旬日照时数	0.398 7	0.05
6月降水日数	-0.457 1	0.05

表2 第二次产量预报主要气象影响因子

因子	相关系数	显著性水平 α
6月下旬日照时数	0.398 7	0.05
6月降水日数	-0.457 1	0.05
6月下旬气候适宜度 (6月中旬~7月上旬降水量+7月上旬 降水量) \times (6月降水日数+6月下旬降水日数)	-0.720 1	0.05
8月中旬平均降水量(降水量/降水日数)	0.516 2	0.05
8月上旬日最高气温 > 35 °C 日数	-0.535 4	0.05
7月上旬平均降水量(降水量/降水日数)的平方	-0.666 5	0.05
8月上旬日平均气温 > 30 °C 日数的平方	-0.549 6	0.05

2.1.2 第2次产量趋势预报方程。 此方程为 $y'_i = 1.396 + 0.187X_1 + 1.1747X_2 - 0.0537X_3 - 0.3364X_4 + 18.5016X_5 - 0.0004X_6$, 式中, y'_i 为第2次预测的相对气象产量趋势, i 为对应的预测年份; X_1 代表第 i 年前一年的相对气象产量; X_2 代表当年第1次产量趋势预测值, 即为上式中的 y_i 值; X_3 代表当年6月下旬日照时数; X_4 代表当年6月降水日数; X_5 代表当年6月下旬气候适宜度; X_6 代表当年6月中旬~7月上旬降水量与7月上旬降水量的和再与6月降水日数+6月下旬降水日数的和的乘积。分别计算该方程的全相关系数 $R = 0.918$, $R_{0.01} = 0.641$, $R > R_{0.01}$; 标准误差 $\sigma = 0.602$, 平均精度 $c = (1 - \frac{|\sigma|}{100}) \times 100\% = 99.4\%$; $F = 20.605$, $F_{0.01} = 3.710$, $F > F_{0.01}$ 。由此可见, 该方程的回归效果很好。

2.1.3 定量产量预报方程。 此方程为 $y = 0.2718 + 0.1014X_1 - 0.7237X_2 - 0.0014X_3 + 0.0893X_4 + 0.8127X_5$, 式中, y 为相对气象产量, i 为对应预报年份, X_1 代表当年8月中旬平均降水量, X_2 代表当年8月上旬日最高气温 > 35 °C 的日数, X_3 代表当年7月上旬平均降水量的平方值, X_4 代表当年8月上旬日平均气温 > 30 °C 的日数平方值, X_5 代表当年第2次产量趋势预测值。分别计算该方程的全相关系数 $R = 0.940$, $R_{0.01} = 0.641$, $R > R_{0.01}$; 标准误差 $\sigma = 0.506$, 平均精度 $c = (1 - \frac{|\sigma|}{100}) \times 100\% = 99.5\%$; $F = 36.588$, $F_{0.01} = 3.895$, $F > F_{0.01}$ 。由此可见, 该方程的回归效果很好。

2.2 结果检验

2.2.1 预报等级检验。 通过定量预报相对气象产量, 还原当年预测产量, 对比实际产量作相对误差, 结果发现, 超过

90%的年份相对误差值为 $-3\% \sim 3\%$,只有3个年份相对误差绝对值 $>3\%$ (图2),参照《技术指导手册》趋势预报等级评分表,全部年份等级均在 ± 1 级,绝对正确率在95%以上,且增减产趋势预报100%符合,预报方程可信度很高,可以运用到实际业务中并为产量预报提供参考。

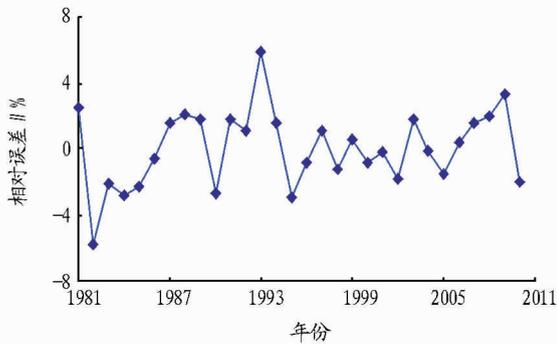


图2 预报相对误差等级检验

2.2.2 产量实况检验。为了进一步检验模式的可信度,通过预测2011、2012年的一季稻产量,并与实况数据做对比分析。从表3可以看出,趋势预报历史回代效果良好,预报与实况误差不超过一级,完全正确率达70%,2011、2012年试报也比较令人满意;表4表明,定量预报平均相对误差为1.9%,其中90%的年份相对误差值为 $-3\% \sim 3\%$,只有3个年份相对误差绝对值 $>3\%$,2011、2012年试报的相对误差分别为 -1.1% 、 3.7% ,效果较好。

3 小结与讨论

(1)新研制的产量预报模式将气候适宜度作为气象影响因子引入模式,使预报结果更加的精确,为不同发育期适时开展为农服务工作提供更加科学的参考。

表3 趋势预报效果检验

年份	单产 kg/hm ²	趋势产量 kg/hm ²	预报 级别	实际 级别	级别 误差
1981	5 899.1	6 066.0	5	4	1
1982	7 356.5	6 215.1	5	5	0
1983	4 600.5	6 027.5	1	1	0
1984	7 188.7	6 511.3	5	5	0
1985	6 760.0	6 682.9	2	2	0
1986	6 598.6	6 833.6	3	3	0
1987	7 233.5	7 072.7	5	4	1
1988	6 764.3	6 930.2	3	2	1
1989	6 936.1	6 722.8	3	3	0
1990	6 632.1	6 282.8	3	3	0
1991	5 334.6	5 757.5	1	1	0
1992	5 293.1	5 689.1	3	3	0
1993	6 328.6	6 016.3	5	5	0
1994	6 419.9	6 388.5	3	3	0
1995	6 887.6	6 705.6	3	4	-1
1996	6 548.7	6 712.6	2	3	-1
1997	6 774.9	6 711.8	3	3	0
1998	6 755.0	6 721.3	3	3	0
1999	6 471.2	6 813.7	2	3	-1
2000	7 290.4	6 943.7	5	5	0
2001	6 845.7	6 870.0	2	2	0
2002	7 171.9	6 804.9	3	3	0
2003	5 805.0	6 714.8	1	1	0
2004	7 482.4	7 070.5	5	5	0
2005	7 395.5	7 341.9	2	3	-1
2006	7 676.9	7 471.8	4	3	1
2007	7 237.8	7 424.2	3	2	1
2008	7 096.5	7 207.8	3	3	0
2009	7 125.6	7 091.3	3	3	0
2010	7 048.4	6 963.2	3	3	0
2011	7 967.1	7 577.2	5	5	0
2012	7 116.6	7 447.2	2	1	1
2013	-	7 492.3	3	-	-

表4 定量预报效果检验

年份	实际产量 kg/hm ²	趋势产量 kg/hm ²	相对气象产量	预测气象产量	预测产量 kg/hm ²	预报误差 kg/hm ²	相对预报误差 %
1981	5 899.1	6 066.0	-2.8	-0.31	6 047.1	148.0	2.5
1982	7 356.5	6 215.1	18.4	11.47	6 928.0	-428.5	-5.8
1983	4 600.5	6 027.5	-23.7	-25.27	4 504.2	-96.3	-2.1
1984	7 188.7	6 511.3	10.4	7.35	6 989.7	-199.0	-2.8
1985	6 760.0	6 682.9	1.2	-1.20	6 602.7	-157.3	-2.3
1986	6 598.6	6 833.6	-3.4	-4.02	6 558.7	-39.9	-0.6
1987	7 233.5	7 072.7	2.3	3.86	7 345.8	112.3	1.6
1988	6 764.3	6 930.2	-2.4	-0.32	6 908.2	143.9	2.1
1989	6 936.1	6 722.8	3.2	4.99	7 058.2	122.1	1.8
1990	6 632.1	6 282.8	5.6	2.75	6 455.9	-176.2	-2.7
1991	5 334.6	5 757.5	-7.3	-5.70	5 429.6	95.0	1.8
1992	5 293.1	5 689.1	-7.0	-5.90	5 353.2	60.1	1.1
1993	6 328.6	6 016.3	5.2	11.44	6 704.5	375.9	5.9
1994	6 419.9	6 388.5	0.5	2.13	6 524.9	105.0	1.6
1995	6 887.6	6 705.6	2.7	-0.31	6 684.7	-202.9	-2.9
1996	6 548.7	6 712.6	-2.4	-3.23	6 495.9	-52.8	-0.8
1997	6 774.9	6 711.8	0.9	2.02	6 847.2	72.3	1.1
1998	6 755.0	6 721.3	0.5	-0.73	6 672.1	-82.9	-1.2

接下表

(下转第291页)

181.9 mm, 该月 21~27 日降水 38.9 mm; 1974 年 9 月 29 日~10 月 7 日的连阴雨, 降水 61.8 mm; 1975 年 9 月 5 日~10 月 7 日的连阴雨, 降水 24.3 mm。这 6 次连阴雨不仅造成了大量山芋干霉烂变质, 且延长了小麦播种期。1979 年 9 月 12~19 日连阴雨, 降水 150.9 mm, 致使黄豆不能正常收割, 霉烂发芽。

4 小结

(1) 灵璧高影响天气事件主要包括大风、旱涝、暴雨、冰雹、连阴雨, 其中大风、暴雨、连阴雨影响较为突出, 一次过程往往可以覆盖全县。

(2) 灵璧大风天气出现频率较高, 大风分布呈现“两多两少”特点, 即 2、3、4 月多, 6、7 月多, 9、10 月少。

(3) 早一年四季均可能出现, 按发生时间可分为春旱、初夏旱、伏旱、夹秋旱和秋冬旱。涝主要出现在 4~9 月, 可分为春涝、初夏涝、夏涝和秋涝。

(4) 冰雹主要出现在 4~7 月, 5 月份最多。全县各区乡均有降落。冰雹降落途径有 2 条: 第 1 条从江苏省铜山县的房村进入灵璧县王集区, 经尤集、朱集后再分成两支, 一支经浍沟、禅堂进入泗县境内, 另一支向南经浍沟、杨疃两区后达界沟乡境内; 第 2 条从宿县时村北部进入灵璧县尹集、杨疃两区后达城关区境内, 后又分成两支, 一支向东进入泗县境内, 另一支向南经向阳、黄湾达固镇境内。

(5) 灵璧县暴雨在 3~10 月均有出现, 主要集中在时段在主汛期 6~8 月。在持续数日甚至十几日的降水过程中, 其间常伴有连续性暴雨出现, 由于降雨强度大、持续时间长、覆盖范围广, 往往给当地造成极为严重的洪涝灾害, 应该引起高度关注。

(6) 灵璧县连阴雨主要包括春季连阴雨、午季连阴雨和秋季连阴雨, 其影响时间段主要是 3 月 21 日~6 月 10 日和 9 月 1 日~11 月 20 日, 其中秋季连阴雨出现次数达 229 次。

参考文献

- [1] 李德, 杨太明, 张学贤, 等. 2008-2009 年宿州秋冬低温干旱成因分析与影响评估[J]. 气象, 2011(5): 615-621.
- [2] 陈邦怀. 淮北地区一次突发性雷雨大风气象服务典型案例分析[C]//公共气象服务委员会、水文气象学委员会、中国气象局公共气象服务中心、水利部水文局. 第 31 届中国气象学会年会 S10 第四届气象服务发展论坛——提高水文气象防灾减灾水平, 推动气象服务社会化发展. 公共气象服务委员会、水文气象学委员会、中国气象局公共气象服务中心、水利部水文局, 2014: 6.
- [3] 王东. 宿州市近 56 年干旱变化特征分析[C]//中国气象学会. 第 31 届中国气象学会年会 S5 干旱灾害风险评估与防控. 中国气象学会, 2014: 6.
- [4] 韩枫. 宿州市雷雨大风天气形势特征和物理量指标分析[C]//中国气象学会. 第 31 届中国气象学会年会 S2 灾害天气监测、分析与预报. 中国气象学会, 2014: 6.
- [5] 王德育, 闵德华. 皖北“6.15”冰雹过程多普勒雷达资料分析[C]//中国气象学会. 中国气象学会 2006 年年会“气象雷达及其应用”分会论文集. 中国气象学会, 2006: 7.
- [6] 陈邦怀, 谌孙荣. 淮北地区冰雹触发机制与主要物理量特征[R]. 安徽省重大天气过程总结和预报技术经验交流会, 2014: 10.

(上接第 288 页)

续表 4

年份	实际产量 kg/hm ²	趋势产量 kg/hm ²	相对气象产量	预测气象产量	预测产量 kg/hm ²	预报误差 kg/hm ²	相对预报误差 %
1999	6 471.2	6 813.7	-5.0	-4.44	6 511.1	39.9	0.6
2000	7 290.4	6 943.7	5.0	4.16	7 232.9	-57.5	-0.8
2001	6 845.7	6 870.0	-0.4	-0.57	6 830.9	-14.8	-0.2
2002	7 171.9	6 804.9	5.4	3.51	7 043.9	-128.0	-1.8
2003	5 805.0	6 714.8	-13.5	-11.99	5 909.6	104.6	1.8
2004	7 482.4	7 070.5	5.8	5.75	7 477.1	-5.3	-0.1
2005	7 395.5	7 341.9	0.7	-0.79	7 284.1	-111.4	-1.5
2006	7 676.9	7 471.8	2.7	3.13	7 705.7	28.8	0.4
2007	7 237.8	7 424.2	-2.5	-0.92	7 355.7	117.9	1.6
2008	7 096.5	7 207.8	-1.5	0.43	7 238.9	142.4	2.0
2009	7 125.6	7 091.3	0.5	3.80	7 360.7	235.1	3.3
2010	7 048.4	6 963.2	1.2	-0.79	6 908.2	-140.2	-2.0
2011	7 967.1	7 577.2	5.15	3.97	7 878.3	-88.8	-1.1
2012	7 116.6	7 447.2	-4.44	-0.95	7 376.5	259.9	3.7
2013	-	7 492.3	-	4.35	7 818.2	-	-

(2) 通过 2011、2012 年的产量试报结果来看, 无论是趋势预报还是定量预报, 效果令人满意, 完全满足业务化要求, 可以业务使用。2013 年的预报结果待检验。

(3) 有个设想, 就是采用动态 30 年数据参与模式拟合, 这样每年的模式都是最新的, 对下一年的预报准确度可以保证, 缺点就是业务人员的工作量比较大, 怎么实现最优化的模式研制还需要再进一步的探讨。

参考文献

- [1] 张建军, 马晓群, 许莹. 安徽省一季稻生长气候适宜性评价指标的建立

与试用[J]. 气象, 2013, 39(1): 88-93.

- [2] 龙继锐. 超级杂交水稻氮高效栽培生理生化特性及关键技术研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2009.
- [3] 钟楚, 朱颖墨, 朱勇, 等. 云南不同类型一季稻产量形成及其与气象因子的关系[J]. 应用生态学报, 2013, 24(10): 2831-2842.
- [4] 赵海燕, 姚凤梅, 张勇, 等. 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[J]. 中国农业科学, 2006, 39(9): 1765-1771.
- [5] 杨沈斌, 申双和, 赵小燕, 等. 气候变化对长江中下游稻区水稻产量的影响[J]. 作物学报, 2010, 36(9): 1519-1528.
- [6] 郑志广. 光温条件对水稻结实及干物质生产的影响[J]. 北京农学院学报, 2003, 18(1): 13-16.
- [7] 张建军, 马晓群, 陈晓艺, 等. 一季稻气象条件定量评价等级: DB34/T 1920-2013[S]. 安徽省质量技术监督局, 2013.