

影响早籼稻谷质量的主要气象因子及其趋势变化的分析研究

岑璐琳^{1*} 叶盈盈² 岑威² 姜笠凯³ 应安娜⁴ 丰诚辉⁵

1. 绍兴市上虞区气象局, 中国·浙江 绍兴 312300

2. 浙江省储备粮管理集团萧山粮库有限公司, 中国·浙江 杭州 311254

3. 江山市粮食收储有限责任公司, 中国·浙江 衢州 324100

4. 金华市粮食收储有限公司, 中国·浙江 金华 321000

5. 金华市婺州粮食收储有限公司, 中国·浙江 金华 321000

摘要: 为探究早籼稻谷实际生产过程中气象因子变化对早籼稻谷品质的影响, 指导早籼稻谷的种植及品种选育, 以 2021—2024 年浙江多地收获的早籼稻谷为样本结合历年气象数据, 分析研究影响早籼稻谷品质的主要气象因子, 并以浙江地区 1971—2024 年主要影响气象因子的观测资料进行线性分析、MK 检验、滑动 T 检验探究其变化趋势。结果表明: 早籼稻谷的出糙率与日照时数呈显著负相关关系与孕穗后的高温 ($\geq 35^{\circ}\text{C}$) 呈显著负相关。1971—2024 年浙江地区早稻相应生长期中最高气温平均值呈现上升趋势突变年份为 2000 年, 最高气温平均值大于 35°C 的高温日数无显著上升或下降趋势, 日照时数呈现下降趋势。

关键词: 气象因子; 趋势; 早籼稻谷; 质量

Analysis and Study on the Main Meteorological Factors Affecting the Quality of Early Indica Rice and Their Trend Changes

Lulin Cen^{1*} Yingying Ye² Wei Cen² Likai Jiang³ Anna Ying⁴ Chenghui Feng⁵

1. Shangyu District Meteorological Bureau, Shaoxing City, Shaoxing, Zhejiang, 312300, China

2. Zhejiang Grain Reserve Management Group Xiaoshan Grain Depot Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang, 311254, China

3. Jiangshan Grain Collection and Storage Co., Ltd., Quzhou, Zhejiang, 324100, China

4. Jinhua Grain Collection and Storage Co., Ltd., Jinhua, Zhejiang, 321000, China

5. Jinhua Wuzhou Grain Collection and Storage Co., Ltd., Jinhua, Zhejiang, 321000, China

Abstract: To investigate the effects of meteorological factor variations on the quality of early indica rice in actual production and to guide its cultivation and variety breeding, this study takes the samples of early indica rice harvested from multiple areas in Zhejiang from 2021 to 2024 to analyze, combining with historical meteorological data to research the major meteorological factors influencing early indica rice quality, And it examines their trends using linear analysis, MK test, and sliding T-test based on observational data from 1971 to 2024 in Zhejiang. The results indicate that the brown rice rate of early indica rice is significantly negatively correlated with sunshine duration and same with high temperatures ($\geq 35^{\circ}\text{C}$) after the booting stage. From 1971 to 2024, the average maximum temperature in the corresponding growth period of early indica rice in Zhejiang was in uptrend, while a sudden change occurred in 2000. Nevertheless, the high temperature days (average maximum temperature $\geq 35^{\circ}\text{C}$) had no significant up or downtrend, but sunshine duration had a downtrend.

Keywords: meteorological factors; trend; early indica rice; quality

0 前言

粮食是人类生存的根本, 粮食安全是国家安全的重要基础。根据浙江省统计局资料, 水稻是浙江省第一大粮食作物, 其中早籼稻具有耐储藏、栽培时间早、生育期短、适应性强、商品率高等特点, 一般用作粮食储备, 大多运用于加工米粉、味精、饲料及酿酒发酵等工业, 少量直接作口粮^[1,2]。与此同时, 浙江省早籼稻播种面积从 2017 年 86.43 万 hm^2

增加到 2023 年 122.15 万 hm^2 , 上升了 41.33%, 同时期早籼稻总产量总体呈现上升趋势, 从 52.77 万吨涨至 76.91 万吨, 上升了 45.75%。气候主要通过温度、降水等关键气象因子影响粮食作物的生长发育过程。IPCC 在 2019 年 8 月发布《气候变化与土地特别报告》, 指出气候和气候变化对粮食系统的生产力、不稳定性、营养质量有直接影响^[3]。由于气象条件的动态变化及极端气候事件的不可完全预测性, 粮食作物生产系统表现出显著的脆弱性, 并面临较大的不确定性风险。

在此背景下，深入研究气象因子对主要口粮作物储藏品质的影响,对于科学指导品种选育与种植布局、增强农业气候韧性、保障粮食质量安全、提高政府储备粮的收购质量、简化收购过程中原粮的处理工作具有重要的理论和实践意义。

1 理论分析

稻谷生长分为萌发、幼苗、分叶、拔节、孕穗、抽穗、扬花、乳熟、蜡熟、完熟，其中萌发和幼苗期常处于大棚内，受自然天气影响较小，浙江地区早籼稻谷于 3 月底至 4 月初进行大田种植，7 月成熟收割。在此期间内会经历倒春寒、梅中有伏、强降雨区重叠、高温、干旱等异常气候，温度、日照、降水等相关气象因子对早籼稻谷的生长影响较大。法哈德等人研究证明早籼稻谷扬花至成熟的高温会影响其品质^[4,5]，潘胜才等人经研究证明扬花后遮光会导致干物质量、实际产量的减少，但氮肥的补充能够适当弥补遮光产生的不利影响^[6]。陆佳岚等人研究证明早稻灌浆成熟期的高温、昼夜温差小会导致淀粉积累疏松，加快水稻灌浆，使植株早衰，造成高温逼熟，同时降低稻米的产量导致整精米率低、垩白大、垩白率高^[7,8]。灌浆成熟期的相对湿度和降水量等气象因子与稻米品质也有显著相关性^[7, 9-10]。

2 研究方法数据来源

本研究采集了 2021—2024 年浙江多地夏粮（早籼稻谷）

出糙率和整精米率数据，结合各地气象站点历史气候数据中影响早籼稻谷质量的气象因子进行分析。因稻谷收获后的处理对其他质量指标如杂质、水分、黄粒米、谷外糙米等影响较大不进行分析。

2.1 资料来源

由于浙江南北方气候差异，本研究将 3 月 15 日至 7 月 31 日定义为早籼稻谷生育期，将 4 月 1 日至 7 月 15 日定义为早籼稻谷移入大田后的生长期。本研究气象数据来自 1971—2024 年 4 月 1 日至 7 月 15 日早籼稻谷生长期，浙江省 75 个国家气象站，气象要素包括日平均气温、日最高气温、≥ 35℃高温日数、日照、日降水等。剔除了资料长度不足 50a 的站点后，获得有效站点 66 个。

2.2 研究方法

本研究采用线性分析、滑动 T 检验等方式，分析浙江早籼稻谷生长季光、温、水等农业气候资源的演变趋势，并通过 MK 检验分析早籼稻谷生长季农业气候资源和突变情况。

3 结果与分析

3.1 质量与气象因子相关性分析

气象因子、早籼稻谷质量数据统计见表 1，生长季各气象要素及早籼稻谷质量的相关系数见表 2。

表 1 气象因子、早籼稻谷质量数据统计表

时期		生长期（4 月 1 日至 7 月 15 日）				扬花后	孕穗后	灌浆后	出糙率加权平均值	整精米率加权平均值
年份		日照时数（h）	有效积温（℃）	降水（mm）	高温天数（d） （最高气温≥ 35℃）	日照时数（h）	高温天数（d） （最高气温≥ 35℃）	温差和（℃）		
江山	2021	471.4	1449	1188.6	17	177.4	16	202.6	76.5	54.0
	2022	587.5	1358.4	1151	20	244.1	19	248.4	76.3	56.6
	2023	632.2	1461.6	602.3	19	200.4	19	207.4	76.0	57.2
	2024	538.8	1421.4	1135.9	15	180.1	15	208.2	75.8	55.8
金华	2021	403.2	1509.6	731	17	143.3	15	195.1	77.6	55.1
	2022	502.6	1450.1	650	19	217.7	19	228.4	77.1	54.3
	2023	508	1564.8	504.9	21	155.9	21	199.8	76.4	53.5
	2024	401.7	1467.5	985.4	16	125	16	198.2	77.0	55.3
松阳	2023	476.5	1513.9	435.4	24	150.4	23	249.4	76.7	54.9
	2024	366.7	1436.4	964.4	15	144	15	263.4	77.6	55.4
永康	2021	431.2	1531.1	796.3	19	151.5	16	192.9	77.4	52.0
	2022	542.7	1369.1	632.4	20	225.7	20	254	76.7	49.8
	2023	549.3	1511.2	425.3	23	176.2	23	213.8	75.1	53.6
	2024	450.1	1422.8	975.1	15	150.8	15	221.7	76.8	56.1
常山	2021	436.2	1429.9	1141	12	162.5	12	208.1	76.6	51.7
	2022	582.6	1349.9	956	19	241.3	19	259.2	76.9	52.6
	2023	621	1456.8	611.3	16	187.2	16	199.2	77.5	54.6
	2024	477.8	1391.3	1312.5	11	154.5	11	203.7	77.4	54.4
嵊州	2022	544.1	1343.2	460.5	17	222.3	17	250.5	76.9	57.0
	2023	521.9	1427.8	381.2	18	155.7	18	220.3	75.6	53.1
	2024	482.9	1367.4	706.2	15	142.5	15	205.6	77.1	54.5
温州	2023	442.1	1513.9	438.8	16	151.5	16	197.6	78.1	55.5
	2024	343.1	1436.4	778	19	145.5	19	222.4	77.8	59.5

表 2 生长季各气象要素及早籼稻谷质量的相关系数

		日照时数	有效积温	降水合计	高温天数	扬花后日照时数	孕穗后高温天数	灌浆期温差和
出糙率加权平均	皮尔逊相关性	-.481*	-0.038	0.175	-0.409	-0.282	-.499*	0.015
	p 值	0.043	0.88	0.488	0.092	0.257	0.035	0.953
整精米率	皮尔逊相关性	0.087	0.042	0.128	-0.087	-0.146	-0.065	-0.092
	p 值	0.732	0.869	0.612	0.732	0.564	0.799	0.718

注：** 在 0.01 级别（双尾），相关性显著。* 在 0.05 级别（双尾），相关性显著。

通过对各地早籼稻谷生长各时期影响较大的气象因子和质量进行统计分析，发现生长期日照时数与早籼稻谷的出糙率呈中等强度负相关关系，皮尔逊系数为 -0.481，显著性为 0.043。孕穗后高温天数与早籼稻谷的出糙率呈中等强度负相关关系，皮尔逊系数为 -0.499，显著性为 0.035。与法哈德等人的研究结果基本吻合。

3.2 平均最高气温趋势分析

1971—2024 年早籼稻谷孕穗后生长期内浙江地区最高气温平均值整体呈现上升趋势（见图 1），线性变化倾向率为 0.34℃ /（10 年），MK 趋势检验 $Z_c=3.73$ 、 $\beta=0.04$ 符合上升趋势且增加在 0.05 水平上显著。UF、UB 交点位于

2000 年，表明在 2000 年前后早籼稻谷孕穗后生长期内浙江地区最高气温有突变现象，UF 曲线在 2005 年后处于 0.05 显著性水平线上，表明 2004 年后浙江地区最高气温平均值有显著上升趋势（见图 2）。

3.3 高温（日最高气温≥ 35℃）日数趋势分析

1971—2024 年早籼稻谷孕穗后生长期内浙江地区高温日数（最高气温≥ 35℃天数）整体呈下降趋势（见图 3），线性变化倾向率为 -0.16℃ /（10 年），下降趋势并不明显，历年值在平均值上下来回波动变化，MK 趋势检验 $Z_c=-0.06$ 、 $\beta=-0.001$ 也表明下降趋势不明显且不显著。MK 突变检验中（见图 4）无明显突变点，在 0.05 水平上无显著上升或下降。

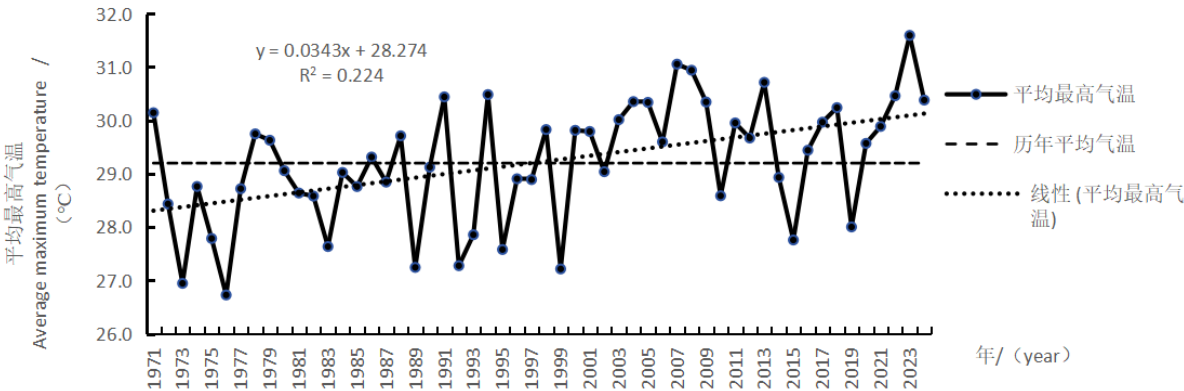


图 1 1971—2024 年早籼稻谷孕穗后生长期内平均最高气温平均值趋势图

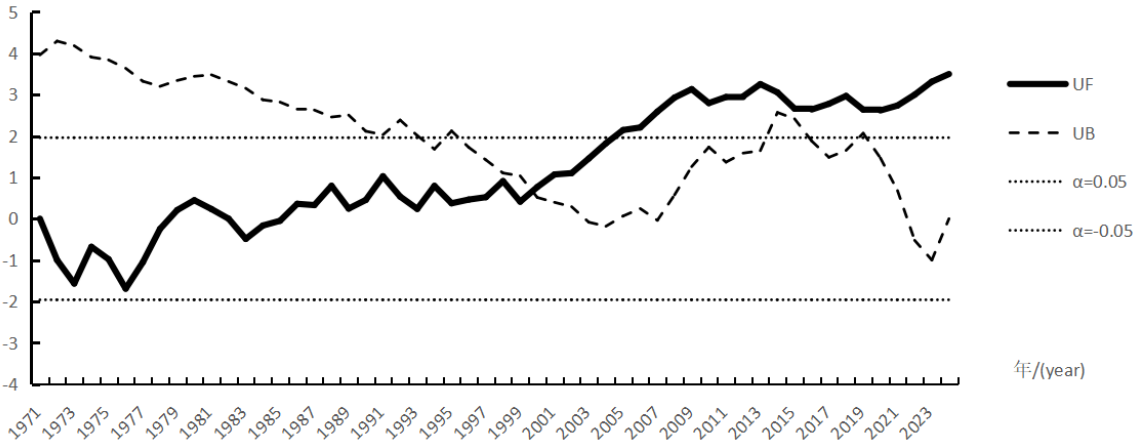


图 2 1971—2024 年早籼稻谷孕穗后生长期内最高气温平均值 MK 突变检验

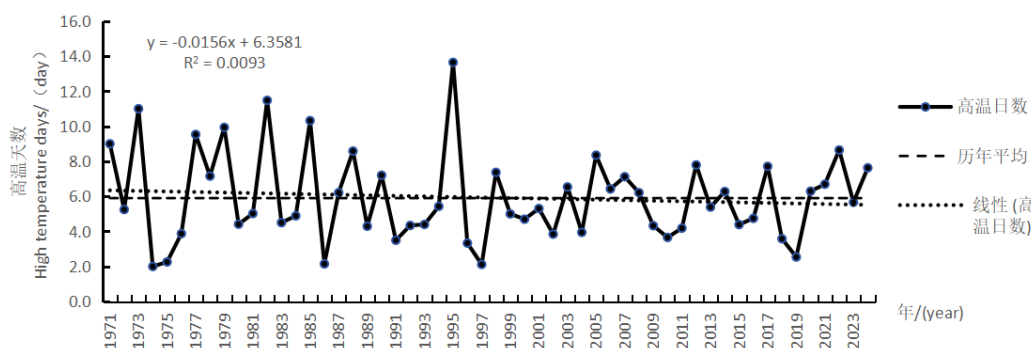


图 3 1971—2024 年早籼稻谷孕穗后生长期内高温日数趋势图

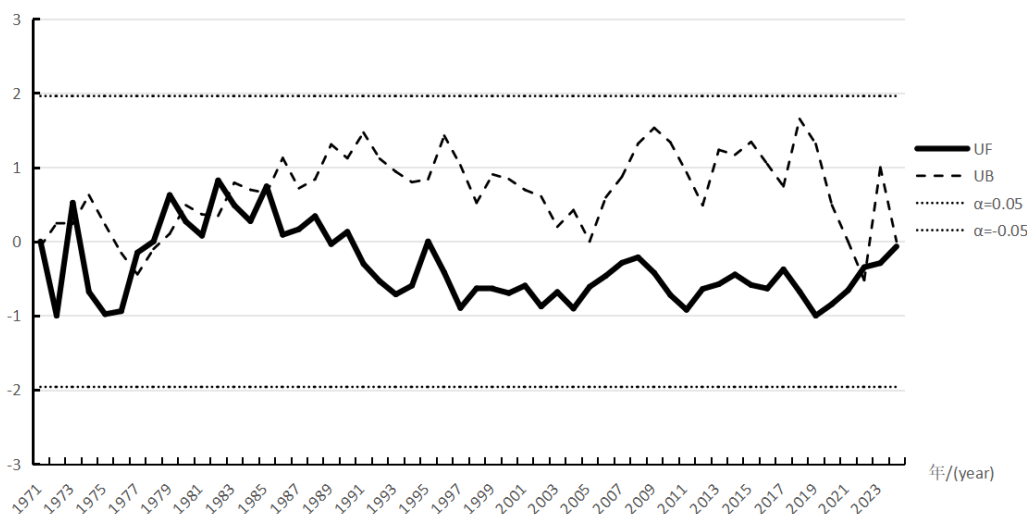


图 4 1971—2024 年早籼稻谷孕穗后生长期内高温日数 MK 突变检验

3.4 日照时数趋势分析

1971—2024 年早籼稻谷生长期内浙江地区累计日照的平均值为 519h, 整体呈现下降趋势 (见图 5), 线性变化倾向率为 -148.65/10 年, MK 趋势检验 $Z_c = -2.53$ 、 $\beta = -1.57$ 符合下降趋势且下降在 0.05 水平上显著。MK 突变检验 (见

图 6) UF 曲线始终小于 0 且在 2019 年有显著下降趋势, 但在 1989—2006 年有多个交点。进一步对该数据进行滑动 T 检验 (step=1-10, $\alpha = 0.05$), 证明为假突变点, 浙江地区早籼稻谷分叶后生长期内日照平均值一直呈现下降趋势。

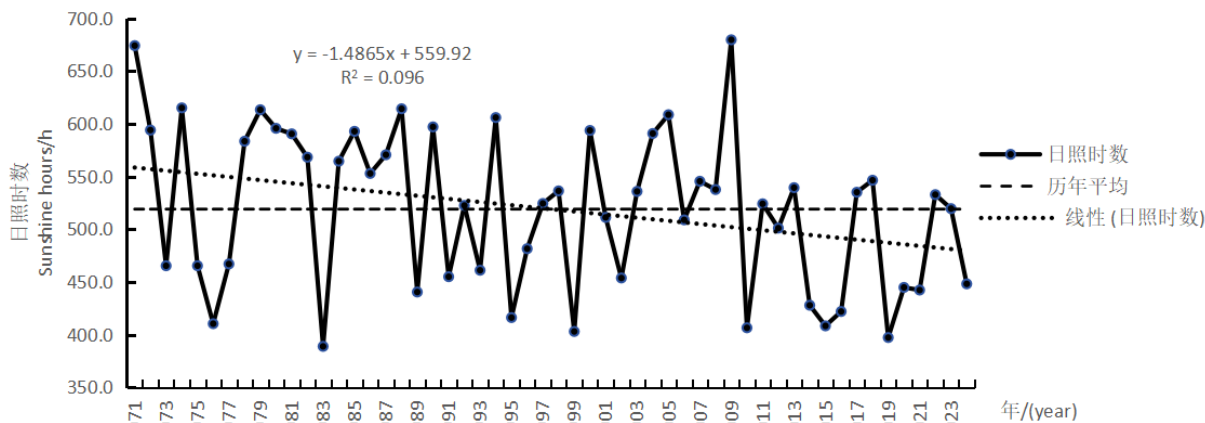


图 5 1971—2024 年早籼稻谷分叶后生长期内日照时数趋势图

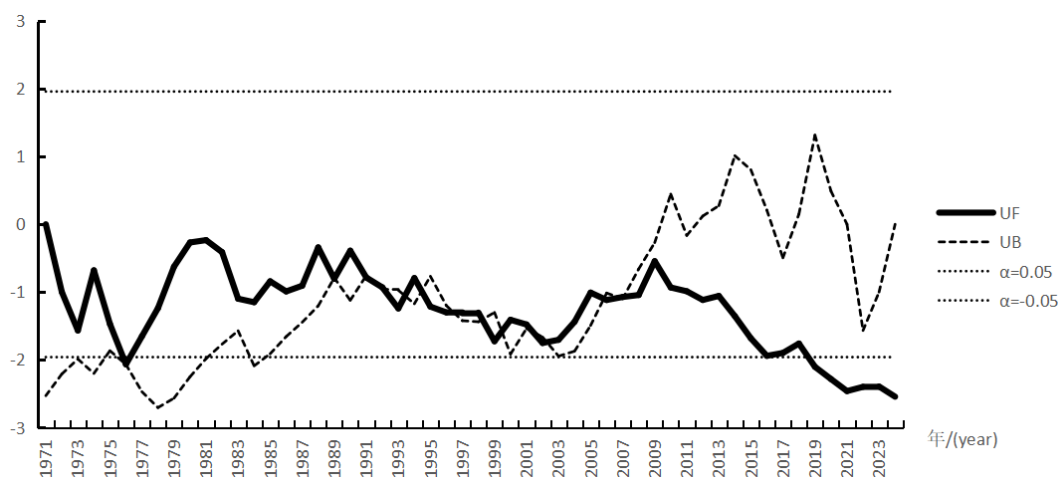


图 6 1971—2024 年早籼稻谷分叶后生长期日照时数 MK 突变检验

4 结果与讨论

①在研究中我们发现各气象因子与整精米率无显著相关关系,这可能是由于检验误差所致。生长期内的最高气温($> 35^{\circ}\text{C}$)对早籼稻谷品质的影响也相对比较大(达到中等相关)但 $p > 0.05$,这可能是由于高温主要通过影响孕穗抽穗、灌浆结实期稻谷植株的生长所造成,对稻谷生长前期无较大影响,故以整个生长期内的最高气温为对象研究高温对品质的相关性不是很合理。分年份进行分析,发现 2023 年早籼稻谷生长季内降水明显偏少,样品生产各地降水量远低于历年平均降水量,但早籼稻谷品质并无显著差异,这可能是由于农业技术的发展,自动灌溉技术全面应用和作物种植技术指导的推广,在浙江相对干旱天气已不是影响农作物产量的主要原因。

② 1971—2024 年浙江地区早稻相应生长期最高气温平均值呈现上升趋势突变年份为 2000 年并于 2004 年后呈现显著上升趋势,最高气温大于 35°C 的高温日数无显著上升或下降趋势,日照时数呈现下降趋势。在 1971—2024 年,早籼稻谷相应生长期内高温日数无显著变化,日照时数呈现显著下降趋势,而后者的降低不利于早籼稻谷的生长,在实际生产过程中可在相应时期适量补充氮肥。

参考文献:

- [1] 刘鑫,施俊生,缪添惠,等.浙江省早稻区试及生产趋势分析[J].中国稻米,2022,28(1):87-90.
- [2] 俞法明.新中国成立以来浙江省早籼稻发展状况和品种演变分析[D].杭州:浙江大学,2007.

- [3] IPCC. Climate change and land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable and management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems[M/OL].[2019-09-16].<https://www.ipcc.ch/srccl/chapter/summary-for-olcymakers/>
- [4] 法哈德(SHAH FAHAD).高温胁迫对水稻产量和品质的影响与化学调控的缓解效应与机理[D].武汉:华中农业大学,2015.
- [5] ASAOKA M, OKUNO K, FUWA H. Effect of environmental temperature at the milky stage on amylose content and fine structure of amylopectin of waxy and nonwaxy endosperm starches of rice (*Oryza sativa* L.)[J]. Agricultural and biological chemistry, 1985,49(2):373-379.
- [6] 潘胜才,陈余波,简叙,等.光照、氮素对杂交水稻干物质积累、分配和产量形成的影响[J].作物研究,2024,38(1):1-9+15.
- [7] 陆佳岚,王净,马成,等.长江流域中稻产量和品质性状差异与其生育期气象因子的相关性[J].江苏农业学报,2020(6):1361-1372.
- [8] 杨远柱,王凯,符辰建,等.中国杂交籼稻品质改良现状分析[J].杂交水稻,2020,35(3):1-7.
- [9] 朱碧岩,程方民,吴永常,等.稻米粒重形成规律与结实期温度的关系[J].西北农业大学学报,1996,24(3):55-60.
- [10] 程方民,钟连进.不同气候生态条件下稻米品质性状的变异及主要影响因子分析[J].中国水稻科学,2001(3):28-32.

作者简介:岑璐琳(1990-),女,中国浙江慈溪人,本科,工程师,从事气象监测预警研究。