



梁子蒙,段秀建,杜斌,曹柯,姚雄,唐永群,李经勇,张巫军. 播期对长江上游中稻-再生稻产量及温光资源利用效率的影响[J]. 中国农业大学学报, 2025, 30(12): 213-227.

LIANG Zimeng, DUAN Xiujuan, DU Bin, CAO Ke, YAO Xiong, TANG Yongqun, LI Jingyong, ZHANG Wujun. Effects of sowing date on the yield and temperature and light resource utilization efficiency of medium rice-ratoon rice in the upper reaches of the Yangtze Rive[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2025, 30(12): 213-227.

DOI: 10.11841/j.issn.1007-4333.2025.12.18

播期对长江上游中稻-再生稻产量及温光资源利用效率的影响

梁子蒙^{1,2} 段秀建¹ 杜斌¹ 曹柯¹ 姚雄^{1*} 唐永群¹ 李经勇¹ 张巫军^{2*}

(1. 重庆市农业科学院 重庆再生稻研究中心, 重庆 401329;

2. 重庆市农业科学院 逆境农业研究重庆市重点实验室, 重庆 401329)

摘 要 为明确播期对长江上游中稻-再生稻温光资源分配和利用的影响及其与产量形成的关系,于2023—2024年进行大田试验,以中籼迟熟型杂交水稻‘渝香优8133’为试验材料,设置抢早播(03-05, B₁)、适期早播(03-12, B₂)、正常播(03-19, B₃)及2个推迟播期(03-26, B₄和04-02, B₅)处理,测定再生稻头季和再生季的生育期、产量及其构成因素、不同生育阶段日平均气温、有效积温和太阳辐射,分析有效积温分配及其生产效率、太阳辐射分配及其生产效率与再生稻头季和再生季产量的关系。结果表明:随播期推迟,再生稻头季生育期缩短,再生季生育期延长,周年生育期呈缩短趋势。再生稻头季、再生季和周年产量、有效积温生产效率和太阳辐射生产效率均随播期推迟表现先增加后降低的趋势,且均以适期早播处理(B₂)最高。与抢早播(03-05, B₁)处理比较,适期早播(03-12, B₂)再生稻头季生育期缩短4.0 d,再生季生育期延长2.5 d,周年生育期缩短1.5 d,周年有效积温和太阳辐射分别增加0.71%和0.68%。适期早播(03-12, B₂)的再生稻头季、再生季和周年的产量分别较抢早播(03-05, B₁)提高8.34%、23.68%和13.39%,有效积温生产效率分别提高6.80%、23.91%和12.54%,太阳辐射生产效率分别提高5.84%、23.31%和12.14%。推迟播期(03-26, B₄)和(04-02, B₅)处理均使再生稻周年产量和温光资源利用率显著降低。综上,在长江上游稻区,适期早播(03-12, B₂)可使再生稻周年温、光资源获得最佳配置,实现中稻-再生稻周年产量和温光资源利用效率的协同提升。

关键词 再生稻; 产量; 播期; 资源分配; 资源利用效率

中图分类号 S511

文章编号 1007-4333(2025)12-0213-15

文献标志码 A

Effects of sowing date on the yield and temperature and light resource utilization efficiency of medium rice-ratoon rice in the upper reaches of the Yangtze Rive

LIANG Zimeng^{1,2}, DUAN Xiujuan¹, DU Bin¹, CAO Ke¹, YAO Xiong^{1*}, TANG Yongqun¹,

LI Jingyong¹, ZHANG Wujun^{2*}

(1. Chongqing Rice Ratooning Research Center, Chongqing Academy of Agricultural Sciences,

Chongqing 401329, China;

2. Chongqing Key Laboratory of Adversity Agriculture Research, Chongqing Academy of Agricultural Sciences,

Chongqing 401329, China)

收稿日期: 2025-04-30

基金项目: “十四五”国家重点研发计划(2022YFD2301002);重庆市现代农业产业技术体系(CQMAITS202401);现代农业产业技术体系建设专项(CARS-01-25)

第一作者: 梁子蒙(ORCID0000-0002-7145-8479),助理研究员,主要从事水稻栽培生理生态及轻简栽培技术研究, E-mail: 861162916@qq.com

通讯作者: 姚雄(ORCID0000-0002-5831-9351),研究员,主要从事水稻生理生态及机械化轻简栽培技术研究, E-mail: yaoxiong0004@163.com;

张巫军(ORCID0000-0003-4066-8534),副研究员,主要从事水稻栽培生理生态及轻简栽培技术研究, E-mail: zhangwj881125@163.com

Abstract This study aimed to determine the effects of sowing date on the characteristics of temperature and light resource distribution and utilization in the main crop-ratoon crop rice system and its relationship with grain yield in the upper reaches of the Yangtze River. Field experiments were conducted by using a medium *Indica* late maturing hybrid rice variety ‘Yuxiangyou 8133’ as the test material in 2023-2024. Five different sowing date treatments including the grab early sowing date (03-05, B₁), suitable early sowing date (03-12, B₂), normal sowing date (03-19, B₃), delaying sowing date (03-26, B₄ and 04-02, B₅), were designed. The growth duration period, grain yield and yield components, daily average temperature, effective accumulated temperature and solar radiation under different growth duration stages of the main crop and ratoon crop were measured. The relationship between the allocation of effective accumulated temperature and effective accumulated temperature production efficiency, the allocation of solar radiation and solar radiation production efficiency and the grain yields of the main crop and ratoon crop in ratoon rice system were analyzed. The results showed that: With the delay of the sowing date, the growth duration period of the main crop was shortened, while that of the ratoon crop was extended, leading to overall shortened annual growth duration. The grain yields of the main crop, ratoon crop and annual system, as well as the effective accumulated temperature production efficiency and solar radiation production efficiency exhibited first increasing and then decreasing trend with the delay of the sowing date, and the peak value of these indexes achieved at the suitable sowing date (03-12, B₂). Compared with the grab early sowing date (03-05, B₁), the suitable early sowing date (03-12, B₂) shortened the growth duration of the main crop by 4.0 d, extended the growth duration of the ratoon crop by 2.5 d, and reduced the annual growth duration by 1.5 d. The annual effective accumulated temperature and solar radiation were increased by 0.71% and 0.68%, respectively. When compared to the grab early sowing date (03-05, B₁), the suitable sowing date (03-12, B₂) increased the grain yields of the main crop, ratoon crop and annual system in ratoon rice system by 8.34%, 23.68%, and 13.39%, respectively, and elevated the effective accumulated temperature production efficiency by 6.80%, 23.91%, and 12.54%, and also increased the solar radiation production efficiency by 5.84%, 23.31%, and 12.14%, respectively. The delayed sowing date (03-26, B₄) and (04-02, B₅) significantly decreased annual grain yield, the temperature and solar radiation resources utilization efficiency in ratoon rice system. In conclusion, the suitable early sowing date (03-12, B₂) achieves the best allocation of annual temperature and solar radiation resources for main crop and ratoon crop in rice-growing regions of the upper Yangtze River, thus synergistically enhancing both the annual yield and the utilization efficiency of thermal and solar resources main crop and ratoon crop rice system.

Keywords ratoon rice; yield; sowing date; resource allocation; resource use efficiency

再生稻是指头季水稻收获后,采用适宜的栽培措施使稻桩上休眠的腋芽萌发,再生成穗,从而再收获一季的水稻种植模式^[1-3]。再生稻通过增加复种指数,实现“一种两收”,充分利用秋季光热资源,提高水稻单产^[4-6]。再生稻主要分布在我国南方稻区,据测算,适宜种植再生稻的面积高达500万hm²,近年来发展尤为迅速,预计到2030年再生稻种植面积将新增66.7万hm²,这将进一步增强国家粮食安全保障^[7-8]。以四川、重庆为核心的长江上游稻区是我国再生稻主产区之一,再生稻常年种植面积达46.7万hm²^[9]。在全球气候变暖的背景下,长江上游稻区气候变化的极端性增强,如再生稻头季苗期的低温冷害、灌浆结实期的高温热害和再生季灌浆期低温阴雨,成为再生稻安全生产的重要限制因

素^[10-12]。然而,传统的再生稻播栽模式与气候变化的新特征失配,导致生产中再生稻头季与再生季的关键生育阶段实际温光匹配与所需的适宜温光条件出现错位,周年温光资源利用效率偏低,产量水平难以提升^[13]。因此,通过优化头季播期,进而明确再生稻周年产量形成、资源利用效率与头季、再生季温光资源分配的关系,对再生稻生产中应对气候变化,并实现资源高效利用及高产具有重要意义。

温、光是影响水稻生长发育的重要环境因子,不仅通过光合有效辐射强度直接决定群体生物量积累,还通过有效积温调控生育进程,进而影响产量形成^[14]。生产上,协调再生稻头季和再生季的光、温资源配置,是资源高效利用、挖掘再生稻周年产量潜力的重要途径。已有研究表明,调整播期可

有效改变作物生长发育的温、光环境,是调节作物生育进程与气候资源适配的重要栽培措施^[15-16]。通过优化单季稻播期可增加齐穗期-成熟期的温、光资源分配,实现产量和品质的协同提升^[17-18]。在双季稻中,张玮等^[19]研究发现,早稻适度迟播、晚稻适度早播均有利于提高周年光热资源效率和产量水平。稻麦双季适期晚播模式通过优化周年温、光、水资源配置,特别是增加水稻季的光温资源分配率,实现了周年产量和资源利用效率的协同提升,特别是水稻季的同步提高^[20]。徐富贤等^[21]指出,应将中稻-再生稻视为一个整体,采用统筹的栽培管理措施,可进一步提高再生稻周年产量潜能。

重庆地区光、热资源充沛,是长江上游再生稻主产区之一。已有研究多集中在养分管理、水分管理及收获方式、播期和留桩高度对再生稻产量形成的调控方面^[5],然而该地区温、光资源利用效率和再生稻两季产量形成与温、光资源分配的定量关系有待研究,尤其再生稻周年高产高效形成的温光响应机制的研究尚未见报道。本研究设置再生稻头季不同播期处理(3月上旬—4月上旬),测定生育进程、产量、有效积温和太阳辐射,系统分析不同播期方式下再生稻两季温光资源配置特征,产量形成和温光资源利用效率的变化规律,旨在探究播期对长江上游中稻-再生稻温光资源分配和利用的影响及其与产量形成的关系,以期为提高长江上游中稻-再生稻周年产量潜力提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验地点

试验于 2023—2024 年在重庆市永川区来苏镇观音井村(29°16′15″N, 105°47′53″E, 海拔 308 m)进行。试验地属亚热带湿润季风气候,年平均气温 17.8℃,无霜期 317 d,日照时数 1 306.7 h,降水量 1 042.2 mm。试验地前茬为冬水闲田,供试土壤为紫色水稻土,0—20 cm 耕层土壤 pH 5.7,全氮 1.32 g/kg,速效氮 118.2 mg/kg,速效磷 25.1 mg/kg,速效钾 74.5 mg/kg,有机质 22.5 g/kg。

1.2 试验设计

供试品种为中粳迟熟三系杂交种‘渝香优 8133’(渝审稻 20200013),为重庆地区大面积主导水稻品种,由重庆市农业科学院供种。试验采用单因素试验设计,设置 5 个播期处理,分别为抢早播

(03-05, B₁)、适期早播(03-12, B₂)、正常播(03-19, B₃)及 2 个推迟播期(03-26, B₄和 04-02, B₅),3 次重复,15 个小区,小区面积 5 m×3 m=15 m²。每小区四周筑田埂并用塑料薄膜包埂以防止串肥。试验采用塑料硬盘稀泥方法育秧,移栽叶龄均为四叶一心期,采用人工移栽,行距×株距=30 cm×18 cm,每穴移栽 2 株苗。头季各处理施用尿素(以 N 计)120 kg/hm²、过磷酸钙(以 P₂O₅ 计)72 kg/hm²和氯化钾(以 K₂O 计)96 kg/hm²。其中,尿素(以 N 计)按照基肥:分蘖肥:穗肥=4:3:3 的比例施用,过磷酸钙(以 P₂O₅ 计)作基肥一次性施用,氯化钾(以 K₂O 计)按照基肥:穗肥=5:5 的比例施用。基肥于移栽前 1~2 d 施用,分蘖肥于移栽后 7~10 d 施用,穗肥于倒 4 叶期施用。再生季施尿素(以 N 计)105 kg/hm²,其中粒芽肥用量为 67.5 kg/hm²,于头季齐穗后 5 d 施入土壤,发苗肥 37.5 kg/hm²于头季稻收割后 3 d 施入土壤。头季和再生季水稻管理及病虫害防治按照当地高产栽培要求实施,以防止产量损失。

1.3 测定项目及方法

1.3.1 生育期

分别记录再生稻头季播种、移栽、抽穗和成熟日期,再生季抽穗和成熟日期,并计算各生育期时间, d。

1.3.2 产量及产量构成

分别于再生稻头季和再生季成熟期每小区普查有效穗 40 穴,按照平均每穴有效穗数取代表性水稻植株 5 穴,测定每穗粒数、每穗空瘪粒数、千粒重和结实率。各小区去除边际效应后实收 5 m²稻谷,按照籼稻籽粒标准含水率 13.5% 折算实际产量, kg/hm²。

1.3.3 气象数据

2023—2024 年的气象数据由重庆市永川区来苏镇观音井村试验基地的气象监测站(浙江托普云农科技股份有限公司 NL-GPRS-D)获取,包括逐日平均气温、太阳总辐射等气象数据。再生稻头季和再生季降水量、日平均气温和太阳总辐射在年份间差异较大。2023 年,周年日平均气温为 22.91℃,最高日平均气温出现在 07-11,为 32.6℃;降水量为 938.20 mm,并在 07-28 出现了强降水,降水量达 102.20 mm;周年太阳总辐射为 3 150.85 MJ/m²,日平均辐射为 12.81 MJ/m²,8—10 月的日平均辐射为 15.31 MJ/m²(图 1)。2024 年,日平均

气温为24.08℃,最高日平均气温出现在08-29,为34.0℃; 射为4240.38 MJ/m²,日平均辐射为17.17 MJ/m², 降水量为818.90 mm,8—9月降水稀少;周年太阳总辐 8—10月日平均辐射为28.40 MJ/m²(图1)。

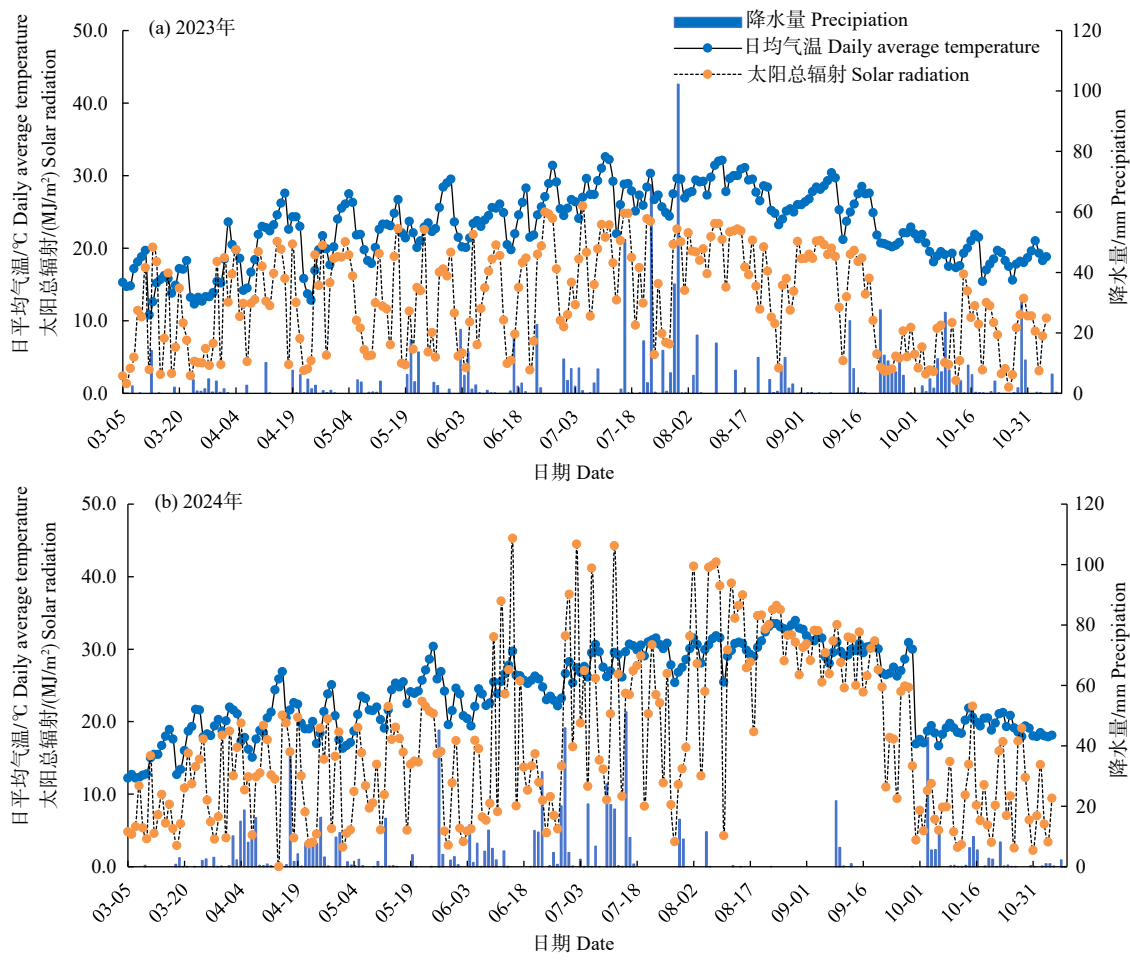


图1 2023和2024年再生稻全生育期降水量、日平均气温和太阳总辐射

Fig. 1 The precipitation, daily average temperature, and solar radiation during the whole ratoon rice duration in 2023 and 2024

1.4 资源利用效率

有效积温 (effective accumulated temperature, EAT)和太阳总辐射 (total solar radiation, SR)是指从再生稻头季播种开始到再生季收获结束,周年为两季相加值,有效积温生产效率 (effective accumulated temperature production efficiency, TPE)和辐射生产效率 (total solar radiation production efficiency, RPE)计算公式如下^[22-23]:

$$\begin{aligned} \text{EAT} &= \sum (T_{\text{mean}} - T_0) \\ \text{TPE} &= \text{GY} / \text{EAT} \\ \text{RPE} &= \text{GY} / \sum \text{SR} \end{aligned}$$

式中: EAT为生育期内有效积温,℃; T_{mean} 为日平均气温,℃; T_0 为生物学下线温度,℃,籼稻取12℃; TPE为有效积温生产效率,kg/(℃·hm²); GY为籽粒

产量, kg/hm²; $\sum \text{SR}$ 为生育期内太阳总辐射, MJ/m²; RPE为辐射生产效率, g/MJ。

1.5 数据处理

采用 Excel 2010 软件进行数据分析与处理, SPSS 20.0 软件进行数据统计方差分析, 采用 Duncan's 法检验差异显著性 ($P=0.05$) 分析。

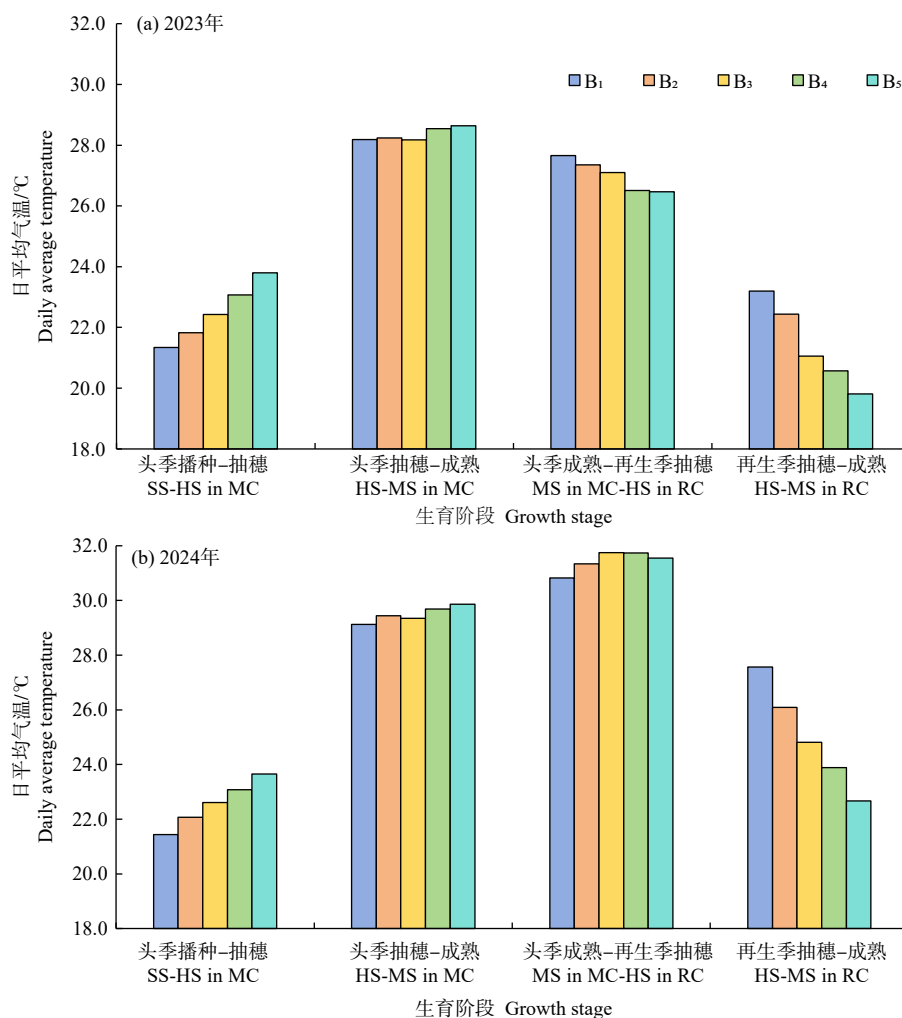
2 结果与分析

2.1 生育期

由图2可知,随着播期推迟,再生稻头季播种-抽穗和抽穗-成熟期的日平均气温均呈增加趋势,而再生季抽穗-成熟期的日均气温呈降低趋势,2年结果基本一致。其中,2023年再生稻头季抽穗-成熟期的日均气温最高,达28.2~28.6℃,各处理

头季成熟-再生季抽穗期的日平均气温由高到低为 $B_1 > B_2 > B_3 > B_4 > B_5$; 2024 年, 再生稻头季成熟-再

生季抽穗期的日平均气温最高, 达到 $30.8 \sim 31.7^\circ\text{C}$, 各处理由高到低为 $B_3 > B_4 > B_5 > B_2 > B_1$ 。



SS, 播种期; HS, 抽穗期; MS, 成熟期; MC, 头季; RC, 再生季。B₁, B₂, B₃, B₄, B₅ 分别为 5 个播期 03-05, 03-12, 03-19, 03-26, 04-02。下同。
SS, sowing stage; HS, heading stage; MS, mature stage; MC, main crop; RC, ratoon crop. B₁, B₂, B₃, B₄, B₅ indicate the five sowing dates 03-05, 03-12, 03-19, 03-26 and 04-02, respectively. The same below.

图 2 2023 和 2024 年不同播期处理下再生稻头季和再生季不同生育阶段的日平均气温

Fig. 2 The daily mean temperature of different growth period in main and ratoon crop of ratoon rice under different sowing date treatment in 2023 and 2024

由表 1 可知, 再生稻头季播种-抽穗期生育期为 142.0~155.5 d, 再生季的生育期为 64.5~71.5 d, 周年生育期为 213.5~220.0 d。随着播期推迟, 再生稻头季生育期均呈缩短趋势, 再生季生育期均呈延长趋势, 周年生育期均呈缩短趋势, 2 年趋势一致。与 B₁ 相比, 再生稻头季 B₂、B₃、B₄ 和 B₅ 处理的生育期分别缩短 4.0、7.5、10.5 和 13.5 d, 其中, 播种-抽穗的生育期缩短幅度较大, 分别为 4.5、8.0、10.8 和 12.5 d; 再生稻再生季 B₂、B₃、B₄ 和 B₅ 的生育期分别延长 2.5、

4.5、5.5 和 7.0 d, 其中抽穗-成熟期的生育期延长幅度较大, 分别为 1.3、1.6、3.5 和 4.0 d。

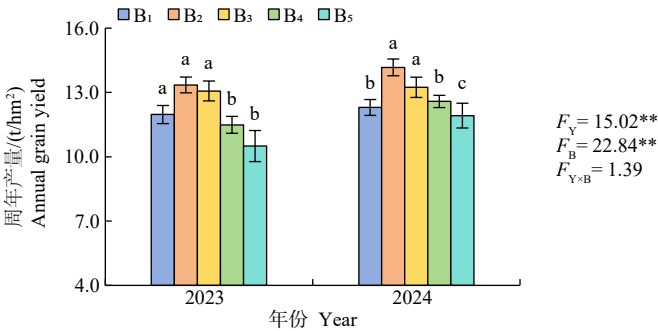
2.2 产量及产量构成

由图 3 可知, 播期 ($F=22.84^{**}$) 和年份 ($F=15.02^{**}$) 均对周年产量有显著影响, 二者互作的影响不显著。2 年的再生稻周年产量随播期推迟呈先增加后降低趋势, 均以 B₂ 产量为最高, 2023 和 2024 年分别为 13.35 和 14.17 t/hm², 较 B₁ 分别增加 11.53% 和 15.20%。

表1 不同播期处理再生稻头季和再生季生育进程的比较

Table 1 Comparison of growth stage in main and ratoon crop of ratoon rice under different sowing date treatments

年份 Year	处理 Treatment	头季 Main crop					再生季 Ratoon crop			周年生育期/d Annual growth duration
		播种日期 Sowing date	移栽日期 Transplanting date	抽穗日期 Heading date	成熟日期 Mature date	生育期/d Growth duration	抽穗日期 Heading date	成熟日期 Mature date	生育期/d Growth duration	
2023	B ₁	03-05	04-16	07-08	08-10	158.0	09-03	10-13	64.0	222.0
	B ₂	03-12	04-20	07-11	08-13	154.0	09-06	10-19	67.0	221.0
	B ₃	03-19	04-25	07-15	08-16	150.0	09-12	10-25	70.0	220.0
	B ₄	03-26	04-29	07-19	08-19	146.0	09-15	10-29	71.0	217.0
	B ₅	04-02	05-03	07-24	08-23	143.0	09-19	11-04	73.0	216.0
2024	B ₁	03-05	04-09	07-04	08-05	153.0	08-25	10-09	65.0	218.0
	B ₂	03-12	04-15	07-06	08-08	149.0	08-30	10-14	67.0	216.0
	B ₃	03-19	04-19	07-09	08-12	146.0	09-04	10-19	68.0	214.0
	B ₄	03-26	04-24	07-13	08-17	144.0	09-07	10-25	69.0	213.0
	B ₅	04-02	04-29	07-19	08-21	141.0	09-13	10-30	70.0	211.0



Y, 年份; B, 播期。 Y, year; B, sowing date treatment.

图3 不同播期处理再生稻周年产量的比较

Fig. 3 Comparison of annual grain yield of ratoon rice under different sowing date treatments

由表2可知,年份和播期对再生稻头季和再生季产量均有显著影响,二者互作仅对再生季产量有显著影响。与2023年比,2024年的头季产量有所降低,但再生季产量显著增加,2024年的周年产量显著高于2023年。2024年再生季有效穗和结实率显著增加,从而使2024年再生季产量显著升高。随着播期推迟,再生稻头季和再生季产量均表现为先增加后降低的趋势,以B₂增幅最高,但B₂与B₃的差异不显著,2年结果一致。与B₁相比,2023年B₂的再生稻头季和再生季的产量分别升高9.22%和17.35%,2024年产量分别升高7.38%和28.38%。从产量构成要素分析,与B₁比较,B₂的再生稻头季单位面积有效穗数和穗粒数分别升高8.62%、2.85%(2023年)和1.45%和3.24%(2024年);再

生季单位面积有效穗数分别升高30.12%(2023年)和13.54(2024年),穗粒数、结实率和千粒重与B₁保持相当。

2.3 积温资源分配

由表3可知,再生稻两季有效积温的分配受到年份和播期的影响较大。除B₄外,2024年再生稻头季有效积温分配率为62.10%~65.88%,比2023年降低16.02~47.53℃;再生季有效积温分配率为182.90~240.15℃,升高了34.12%~37.90%;有效积温的头季/再生季之比大幅降低,周年有效积温达到3251.38~3325.26℃。随播期推迟,再生稻头季的有效积温和积温分配率呈逐渐增加趋势,再生季的有效积温和积温分配率均呈逐渐降低趋势;周年有效积温2023年呈逐渐

表 2 不同播期处理再生稻头季和再生季的产量及产量构成							
Table 2 Yield and yield component in main and ratoon crop of ratoon rice under different sowing date treatments							
生长季 Season	年份 Year	处理 Treatment	单位面积有效穗数/(个/m ²) Panicle per square meter	穗粒数 Spikelets per panicle	结实率/% Seed setting rate	千粒重/g 1 000-grain weight	产量/(t/hm ²) Grain yield
头季 Main crop	2023	B ₁	193.65±4.77 ^b	201.03±8.35 ^{ab}	77.60±2.95 ^a	29.35±0.75 ^a	8.57±0.11 ^b
		B ₂	210.35±8.68 ^a	206.76±15.4 ^{ab}	76.99±2.21 ^a	28.28±0.60 ^{ab}	9.36±0.25 ^a
		B ₃	200.70±8.59 ^{ab}	209.16±13.14 ^a	80.06±3.76 ^a	28.25±0.80 ^{ab}	9.32±0.40 ^a
		B ₄	204.75±4.0 ^{ab}	194.72±2.94 ^{ab}	78.56±2.97 ^a	29.00±0.73 ^a	8.94±0.22 ^{ab}
		B ₅	207.70±3.03 ^a	188.02±2.67 ^b	79.42±3.35 ^a	27.52±0.13 ^b	8.42±0.52 ^b
	2024	B ₁	217.35±6.63 ^a	161.65±8.15 ^{ab}	78.26±5.24 ^{ab}	28.81±0.27 ^a	7.72±0.42 ^{ab}
		B ₂	220.50±4.76 ^a	166.89±3.60 ^{ab}	81.32±4.57 ^{ab}	28.23±0.24 ^{ab}	8.29±0.73 ^a
		B ₃	199.65±6.98 ^b	171.07±7.68 ^a	85.23±4.65 ^a	27.58±0.18 ^b	7.65±0.13 ^{ab}
		B ₄	198.60±5.12 ^b	175.30±10.56 ^a	75.99±3.22 ^b	28.12±0.83 ^{ab}	7.28±0.59 ^b
		B ₅	192.75±5.79 ^b	153.81±7.18 ^b	85.49±4.84 ^a	28.25±0.25 ^{ab}	7.06±0.22 ^b
	年份(Y)		1.11	109.60 ^{**}	3.71	2.13	80.64 ^{**}
	F 播期(B)		6.66 ^{**}	4.08 [*]	2.52	4.96 ^{**}	5.97 ^{**}
	Y×B		9.05 ^{**}	1.38	1.27	2.08	1.14
再生季 Ratoon crop	2023	B ₁	216.60±12.04 ^b	84.24±2.64 ^a	74.73±1.85 ^a	27.85±0.32 ^a	3.40±0.17 ^b
		B ₂	281.85±34.74 ^a	83.12±10.02 ^a	63.00±5.67 ^a	26.97±0.71 ^a	3.99±0.54 ^a
		B ₃	285.55±9.81 ^a	83.00±4.50 ^a	59.78±1.15 ^{ab}	26.97±0.54 ^a	3.75±0.15 ^{ab}
		B ₄	193.20±1.20 ^b	78.61±4.26 ^a	57.14±4.12 ^b	27.74±0.26 ^a	2.55±0.30 ^c
		B ₅	191.70±3.13 ^b	75.08±9.50 ^a	53.10±8.92 ^b	27.77±0.82 ^a	2.08±0.08 ^c
	2024	B ₁	325.80±14.48 ^b	80.54±4.11 ^a	77.07±0.60 ^a	26.07±0.85 ^c	4.58±0.5 ^c
		B ₂	369.90±8.55 ^a	77.78±4.95 ^a	75.96±1.43 ^a	27.36±0.26 ^b	5.88±0.27 ^a
		B ₃	365.25±27.97 ^a	77.99±2.01 ^a	76.64±5.1 ^a	27.49±0.26 ^b	5.59±0.50 ^a
		B ₄	322.65±13.69 ^b	76.94±3.16 ^a	77.37±2.48 ^a	28.04±0.02 ^{ab}	5.30±0.15 ^{ab}
		B ₅	299.10±7.20 ^b	76.48±4.45 ^a	73.99±3.59 ^a	28.45±0.23 ^a	4.86±0.14 ^{bc}
	年份(Y)		286.43 ^{**}	2.10	88.88 ^{**}	0.03	293.99 ^{**}
	F 播期(B)		31.44 ^{**}	1.30	6.72 ^{**}	5.54 ^{**}	19.77 ^{**}
	Y×B		2.61	0.37	4.74 ^{**}	5.77 ^{**}	5.89 ^{**}

注:不同小写字母表示在 0.05 水平具有显著差异。“*”表示在 0.05 水平上差异显著,“**”表示在 0.01 水平上差异显著。下同。
Note: Different lowercase letters show significant differences at the 0.05 level. * indicates significant difference at the 0.05 level, ** indicates significant difference at the 0.01 level. The same below.

表3 不同播期处理再生稻头季和再生季的有效积温资源分配

Table 3 Distribution of effective accumulated temperature in main and ratoon crop of ratoon rice under different sowing date treatments

年份 Year	处理 Treatment	头季 Main crop		再生季 Ratoon crop		周年 Annual	
		有效积温/℃ Effective accumulate temperature	分配率/% Distribution rate	有效积温/℃ Effective accumulate temperature	分配率/% Distribution rate	有效积温/℃ Effective accumulate temperature	头季/再生季 Main season/ ratoon season
2023	B ₁	2 066.70	67.55	992.60	32.45	3 059.30	2.08
	B ₂	2 082.80	67.76	991.10	32.24	3 073.90	2.10
	B ₃	2 110.20	68.39	975.30	31.61	3 085.50	2.16
	B ₄	2 129.90	69.20	947.90	30.80	3 077.80	2.25
	B ₅	2 170.40	69.96	932.00	30.04	3 102.40	2.33
2024	B ₁	2 019.17	62.10	1 232.20	37.90	3 251.38	1.64
	B ₂	2 063.25	62.87	1 218.32	37.13	3 281.57	1.69
	B ₃	2 094.18	63.74	1 191.41	36.26	3 285.60	1.76
	B ₄	2 137.20	64.27	1 188.05	35.73	3 325.26	1.80
	B ₅	2 153.05	65.88	1 114.90	34.12	3 267.95	1.93

增加趋势,2024年表现为先增加后降低趋势,以B₄处理最高。

由图4可知,再生稻头季播种-抽穗期的有效积温为1 422.05~1 540.50℃、头季抽穗-成熟期为634.69~676.74℃,头季成熟-再生季抽穗期为444.35~505.36℃,再生季抽穗-成熟期为546.89~684.58℃。与B₁相比,B₂、B₃、B₄和B₅的再生稻头季播种-抽穗期的有效积温分别增加15.06、17.15、62.57和118.45℃,再生季抽穗-成熟期的有效积温分别降低28.32、90.56、94.15和137.69℃。随播期推迟,头季抽穗-成熟期和头季成熟-再生季抽穗期呈先增加后降低趋势;总体上,除2024年头季抽穗-成熟期B₄最高外,其余均以B₃为最高。

2.4 辐射资源分配

由表4可知,再生稻两季太阳辐射的分配受到年份和播期的影响较大,与2023年相比,2024年再生稻头季的太阳辐射增加167.56~412.28 MJ/m²,分配率为57.43%~64.75%,再生季的太阳辐射增加609.69~851.90 MJ/m²,分配率为35.25%~42.57%,头季与再生季太阳辐射之比均大幅降低,周年太阳辐射达3 950.81~3 994.43 MJ/m²。随播期推迟,再生稻的头季太阳辐射及分配率均呈逐渐增加趋势,再生季的太阳辐射及分配率呈降低趋势;周年的太阳辐射呈先增加后降低趋势,2023年

以B₂最高,2024年以B₄最高。

由图5可知,再生稻头季播种-抽穗期的太阳辐射为1 555.75~1 649.43 MJ/m²,头季抽穗-成熟期为663.13~732.91 MJ/m²,头季成熟-再生季抽穗期为554.67~610.25 MJ/m²,再生季抽穗-成熟期为510.08~733.90 MJ/m²。与B₁相比,B₂、B₃、B₄和B₅的再生稻头季播种-抽穗期的太阳辐射分别增加19.27、9.14、46.01和93.68 MJ/m²,再生季抽穗-成熟期的太阳辐射分别降低58.53、137.16、156.79和223.82 MJ/m²。推迟播期,头季抽穗-成熟期和头季成熟-再生季期抽穗呈先增加后降低趋势;除2024年头季抽穗-成熟期B₄最高,其余均以B₃最高。

2.5 积温及辐射生产效率

由表5可知,年份和播期对再生稻头季和再生季有效积温生产效率、太阳辐射生产效率均有显著影响。与2023年相比,2024年再生稻头季的有效积温生产效率和辐射生产效率均显著降低,*F*分别为69.55和234.01;再生季的有效积温生产效率显著升高(*F*=116.85),辐射生产效率显著降低(*F*=16.90);周年辐射生产效率显著降低(*F*=217.48)。随播期推迟,再生稻的头季、再生季和周年的有效积温生产效率均呈先增加后降低趋势,均以B₂最高,分别较B₁增加6.78%、23.95%和12.61%;此

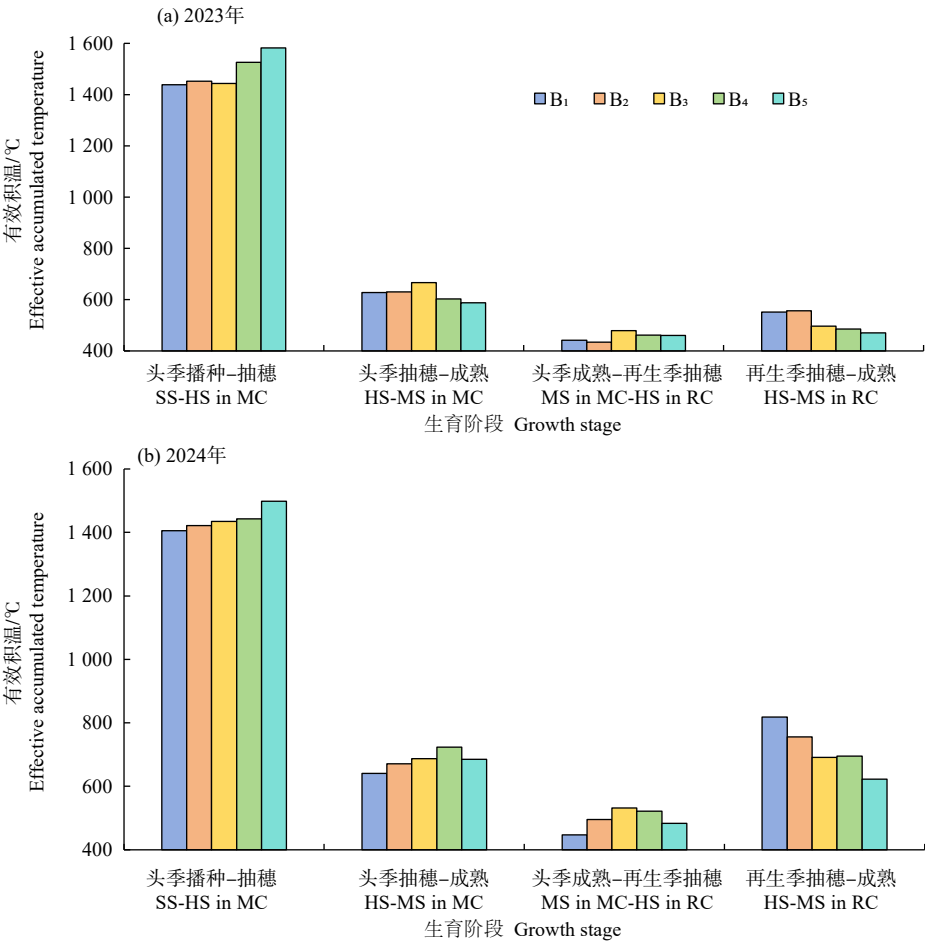


图 4 2023 和 2024 年不同播期处理的再生稻头季和再生季各生育阶段的有效积温资源分配

Fig. 4 Distribution of effective accumulated temperature in different growth period in main and ratoon crop of ratoon rice under different sowing date treatments in 2023 and 2024

表 4 不同播期处理再生稻头季和再生季太阳辐射分配

Table 4 Distribution of solar radiation in main and ratoon crop of ratoon rice under different sowing date treatments

年份 Year	处理 Treatment	头季 Main crop		再生季 Ratoon crop		周年 Annual	
		太阳辐射/ (MJ/m ²) Solar radiation	分配率/% Distribution rate	太阳辐射/ (MJ/m ²) Solar radiation	分配率/% Distribution rate	太阳辐射/ (MJ/m ²) Solar radiation	头季/再生季 Main season/ ratoon season
2023	B ₁	2 121.57	71.52	844.90	28.48	2 966.47	2.51
	B ₂	2 158.32	71.66	853.40	28.34	3 011.72	2.53
	B ₃	2 151.12	72.45	818.07	27.55	2 969.19	2.63
	B ₄	2 148.44	72.86	800.47	27.14	2 948.91	2.68
	B ₅	2 145.91	73.27	782.92	26.73	2 928.84	2.74
2024	B ₁	2 289.13	57.43	1 696.80	42.57	3 985.93	1.35
	B ₂	2 363.48	59.27	1 624.35	40.73	3 987.83	1.46
	B ₃	2 431.03	60.86	1 563.40	39.14	3 994.43	1.55
	B ₄	2 504.37	63.32	1 451.01	36.68	3 955.38	1.73
	B ₅	2 558.20	64.75	1 392.61	35.25	3 950.81	1.84

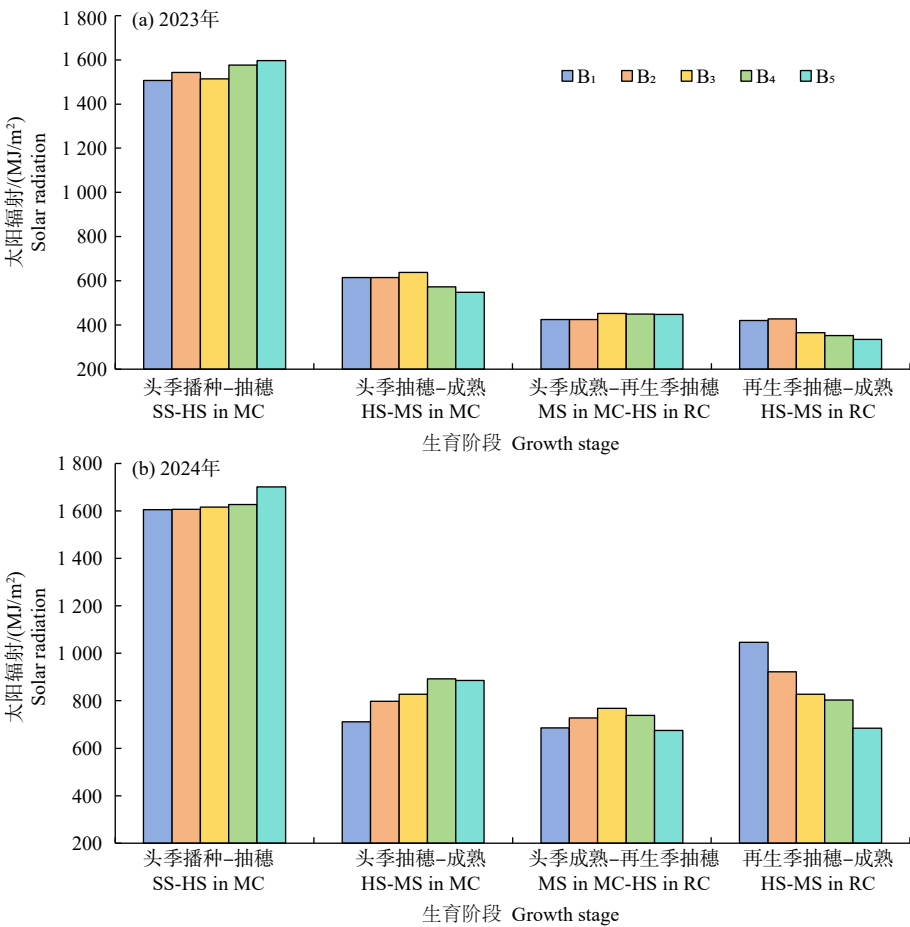


图5 2023和2024年不同播期处理的再生稻头季和再生季各同生育阶段的太阳辐射分配

Fig. 5 Distribution of solar radiation in different growth period in main and ratoon crop of ratoon rice under different sowing date treatments in 2023 and 2024

表5 不同播期处理再生稻的有效积温生产效率和太阳辐射生产效率

Table 5 Accumulation temperature production efficiency and solar radiation production efficiency in ratoon rice under different sowing date treatments

年份 Year	处理 Treatment	有效积温生产效率/(kg/(℃·hm ²)) Effective accumulation temperature production efficiency			辐射生产效率/(g/MJ) Solar radiation production efficiency		
		头季 Main crop	再生季 Ratoon crop	周年 Annual	头季 Main crop	再生季 Ratoon crop	周年 Annual
2023	B ₁	4.15±0.05 ^{bc}	3.43±0.17 ^b	3.91±0.09 ^b	0.40±0.01 ^{ab}	0.40±0.02 ^b	0.40±0.01 ^b
	B ₂	4.49±0.12 ^a	4.02±0.55 ^a	4.34±0.26 ^a	0.43±0.01 ^a	0.47±0.06 ^a	0.44±0.03 ^a
	B ₃	4.42±0.19 ^{ab}	3.84±0.16 ^{ab}	4.23±0.18 ^a	0.43±0.02 ^a	0.46±0.02 ^{ab}	0.44±0.02 ^a
	B ₄	4.20±0.10 ^b	2.68±0.32 ^c	3.73±0.09 ^b	0.42±0.01 ^{ab}	0.32±0.04 ^c	0.39±0.01 ^{bc}
	B ₅	3.88±0.24 ^c	2.23±0.09 ^c	3.38±0.18 ^c	0.39±0.02 ^b	0.27±0.01 ^c	0.36±0.02 ^c
2024	B ₁	3.82±0.21 ^{ab}	3.71±0.40 ^b	3.78±0.21 ^{bc}	0.34±0.02 ^a	0.27±0.03 ^b	0.31±0.02 ^c
	B ₂	4.02±0.35 ^a	4.83±0.22 ^a	4.32±0.15 ^a	0.35±0.03 ^a	0.36±0.02 ^a	0.36±0.01 ^a
	B ₃	3.65±0.06 ^{abc}	4.69±0.42 ^a	4.03±0.11 ^b	0.31±0.01 ^{ab}	0.36±0.03 ^a	0.33±0.01 ^{ab}
	B ₄	3.40±0.28 ^{bc}	4.46±0.12 ^a	3.78±0.18 ^{bc}	0.29±0.02 ^b	0.37±0.01 ^a	0.32±0.02 ^{bc}
	B ₅	3.28±0.10 ^c	4.36±0.12 ^a	3.65±0.08 ^c	0.28±0.01 ^b	0.35±0.01 ^a	0.30±0.01 ^c
F	年份(Y)	69.55 ^{**}	116.85 ^{**}	0.10	234.01 ^{**}	16.90 ^{**}	217.48 ^{**}
	播期(B)	10.41 ^{**}	16.44 ^{**}	22.88 ^{**}	8.17 ^{**}	15.88 ^{**}	19.71 ^{**}
	Y×B	1.57	9.74 ^{**}	1.85	2.97 [*]	17.56 ^{**}	2.24

外,再生稻头季、再生季和周年的辐射生产效率均表现为先增加后降低趋势,也以 B₂为最高,分别较 B₁增加 5.41 %、23.88 %和 12.68 %。

2.6 相关分析

由表 6 可知,2 年的再生稻头季产量与播种-抽穗期太阳辐射、抽穗-成熟期有效积温和太阳辐射均呈极显著负相关,与有效积温生产效率和辐射生产效率均呈显著正相关。再生稻的再生季产量

与头季播种-抽穗期有效积温呈显著负相关,与播种-抽穗期太阳辐射、抽穗-成熟期有效积温和太阳辐射呈显著正相关,与再生季各温光参数总体呈极显著正相关,与辐射生产效率呈正相关,但不显著;再生稻的周年产量同头季播种-抽穗期有效积温呈极显著负相关,同再生季有效积温生产效率、辐射生产效率及周年有效积温生产效率呈极显著正相关。

表 6 再生稻产量与温光资源分配和生产效率的相关性分析
Table 6 Correlation analysis among grain yield, temperature light resource distribution and production efficiency in ratoon rice

生长季 Season	指标 Index	产量/(t/hm ²) Grain yield		
		头季 Main crop	再生季 Ratoon crop	周年 Annual
头季 Main crop	播种-抽穗期有效积温/℃ EAT in SS-HS	0.30	−0.67**	−0.57**
	播种-抽穗期太阳辐射/(MJ/m ²) SR in SS-HS	−0.78**	0.67*	0.06
	抽穗-成熟期有效积温/℃ EAT in HS-MS	−0.56**	0.88**	0.51**
	抽穗-成熟期太阳辐射/(MJ/m ²) SR in HS-MS	−0.70**	0.86**	0.39*
	有效积温/℃ EAT	−0.12	−0.32*	−0.53**
	太阳辐射/(MJ/m ²) SR	−0.65**	0.83**	0.36
	有效积温生产效率/(kg/(℃·hm ²)) TPE	0.95**	−0.44*	0.27
	辐射生产效率/(g/MJ) RPE	0.96**	−0.63**	0.07
再生季 Ratoon crop	头季成熟-再生季抽穗期有效积温/℃ EAT in MS of MC-HS of RC	−0.49**	0.67**	0.28
	头季成熟-再生季抽穗期太阳辐射/(MJ/m ²) SR in MS of MC-HS of RC	−0.59**	0.83**	0.39*
	抽穗-成熟期有效积温/℃ EAT in HS-MS	−0.56**	0.85**	0.52*
	抽穗-成熟期太阳辐射/(MJ/m ²) SR in HS-MS	−0.55**	0.85**	0.54*
	有效积温/℃ EAT	−0.59**	0.83**	0.50**
	太阳辐射 SR/(MJ/m ²) SR	−0.55**	0.85**	0.54*
	有效积温生产效率/(kg/(℃·hm ²)) TPE	−0.39*	0.95**	0.77**
	辐射生产效率/(g/MJ) RPE	0.40*	0.18	0.59**
周年 Annual	有效积温/℃ EAT	−0.68**	0.77**	0.26
	太阳辐射/(MJ/m ²) SR	−0.50**	0.94**	0.65*
	有效积温生产效率/(kg/(℃·hm ²)) TPE	0.47**	0.44**	0.93**
	辐射生产效率/(g/MJ) RPE	0.92**	−0.46*	0.26

注:EAT,有效积温;SR,太阳辐射;TPE,有效积温生产效率;RPE,辐射生产效率。
Note: ETA, effective accumulated temperature; SR, solar radiation; TPE, effective accumulated temperature production efficiency; RPE, solar radiation production efficiency.

3 讨 论

温度、光照等气候资源是影响水稻生产的重要

环境因子^[14]。受气候变化的影响,如低温阴雨、弱光寡照、高温等极端气候现象日益频发,加剧了年际间水稻产量的变化^[15-16]。本研究中,与 2023 年

(阴雨寡照年份)相比,2024年(高温伏旱年份)的再生稻周年产量不降反升(图3),这归因于再生稻的再生季产量显著增加($F=293.99$),尽管头季产量有所降低(表2),说明调整再生稻播期可以应对气候变化,并有效提高了水稻单产和气候韧性,从年际间气象要素分析,再生稻头季,2023年3月日平均气温为 15.1°C ,2024年同期升高了 1.5°C ,使得秧苗生育进程加快,移栽期提早 $4.0\sim 7.0\text{d}$,再生稻的头季播种-抽穗期缩短 $4.0\sim 6.0\text{d}$,使得头季孕穗期光合产物积累不足,每穗粒数显著降低($F=109.60$);此外,2023年再生稻的头季抽穗-成熟期日平均气温 28.36°C ,2024年同期升高 1.13°C ,过高的气温导致头季籽粒灌浆加速,高温逼熟,千粒重平均下降 0.28g ,从而导致2024年再生稻头季产量显著降低。然而,再生稻的再生季,2023年抽穗-成熟期的日平均气温和太阳辐射分别为 21.41°C 和 $380.17\text{MJ}/\text{m}^2$,2024年同期大幅升高 3.59°C 和 $476.93\text{MJ}/\text{m}^2$,这为再生稻腋芽早萌快发和花前干物质积累匹配了充足的温度条件,同时为籽粒灌浆结实提供了充足的光照环境,再生季有效穗和结实率均显著增加,再生季水稻的产量增幅显著(表2)。

在气候变化的影响下,再生稻的头季传统抢早播种或推迟播种的周年产量不高的现象凸显,限制了重庆地区再生稻周年产量潜力的进一步提升,再生稻的头季和再生季匹配适宜的温度和光照条件是获得高产的基本保障^[24]。已有研究表明,播期是调配水稻生产周年温光资源的重要栽培措施^[25-26],因此,通过播期协调,优化温光资源在再生稻两季间的搭配,是有效提高周年资源利用效率,提升水稻产量生产潜力的重要途径。本研究通过头季适期早播(03-12, B_2),实现了再生稻周年高产高效模式,再生稻的头季、再生季和周年产量分别达到 8.83 、 4.94 和 $13.76\text{t}/\text{hm}^2$,较抢早播期(03-05, B_1)处理分别高 8.34% 、 23.68% 和 13.39% ,且均显著高于推迟播期(03-26, B_4 和04-02, B_5)处理,同时温光资源利用效率显著提升。而且,2年的产量数据表明,抢早播期(B_1)或推迟播期(B_4 和 B_5)均不利于再生稻获得周年高产(表2和图3)。

本研究中,随着播期推迟,再生稻的周年产量呈先增加后降低的趋势,以适早播期(B_2)的产量最高,且与正常播期(03-19, B_3)的差异不显著(表2)。通过适期早播(B_2),使再生稻的头季抽穗-成熟期处

于7月中旬—8月上旬,2年这个时期的日平均温度分别为 28.24 (2023年)和 29.40°C (2024年),可避开8月中下旬的极端高温伏旱,利于干物质积累和光合产物向穗部转运^[17];另,适期早播处理(B_2)可使再生稻的头季分蘖初期避开4月中旬“倒春寒”,有利于秧苗早返青快分蘖^[27],从而使头季的有效穗数升高 5.04% 。此外,适期早播(B_2)可使再生季的周年获得更多的有效积温和太阳辐射,且分别略高于抢早播期(B_1) 0.71% 和 0.68% (表3和表4),这为再生季提供了充沛的温、光条件。即,适期早播(B_2)与播期推迟 $6\sim 12\text{d}$ (B_4)或 $12\sim 16\text{d}$ (B_5)处理相比,可有效避免再生稻头季灌浆结实期处于极端高温伏旱的不利天气,并且再生季腋芽萌发-成苗期可处于适合的温光条件,从而促进了再生季分蘖的生长和花前光合产物积累,使得再生季有效穗显著增加,并一定程度上增加了每穗粒数^[28]。此外,与推迟播期(B_4 和 B_5)相比,适期早播处理(B_2)的温、光资源可被更多地调配到再生季抽穗-成熟期,2023年为阴雨寡照年份,显著提高了再生稻再生季的结实率。相关分析发现,再生稻的周年产量与再生稻头季播种-抽穗期积温呈极显著负相关,而与再生季不同生育阶段有效积温和太阳辐射总体呈显著正相关,这归因于再生稻再生季不同生育阶段有效积温、太阳辐射均与再生季产量呈极显著正相关(表6)。充分说明,将中稻-再生稻视为1个体系,通过优化播期,实现再生稻头季和再生季温光资源合理分配,进而为提高周年产量水平奠定了基础。

本试验结果表明,与抢早播期(B_1)比较,适期早播(B_2)再生稻的头季生育期缩短 4.0d ,再生季的生育期延长 2.5d ,周年的生育期缩短 1.5d ;但再生稻的周年有效积温、太阳辐射反而分别增加 $22.40^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 、 $23.58\text{MJ}/\text{m}^2$,而且周年太阳辐射较 B_3 、 B_4 和 B_5 处理分别升高 18.0 、 47.6 和 $60.0\text{MJ}/\text{m}^2$ (表3和表4)。说明适期早播(B_2)可提高中稻-再生稻系统周年温光资源的分配率,为水稻周年高产提供了光热基础。随播期推迟,再生稻头季、再生季和周年的有效积温生产效率、太阳辐射生产效率总体表现为先增加后降低的趋势。适期早播(B_2)的再生稻头季较抢早播期(B_1)有效积温生产效率、太阳辐射生产效率分别升高 6.78% 和 5.41% ,再生季较抢早播期(03-05, B_1)分别升高 23.95% 和 23.88% ($P<0.05$),周年升高 12.61% 和 12.68% ($P<$

0.05)。这说明,适期早播(B_2)通过播期调整,使周年的温光资源获得了最佳配置,且再生季维持较高的温、光资源分配率可显著提高再生季的温光资源利用效率,使周年的温光资源利用率显著升高。本研究结果局限于中粳迟熟型水稻品种,今后应通过比较不同熟期类型的品种并结合播期配置,进一步剖析再生稻的温光资源利用变化规律,从而挖掘重庆再生稻区再生稻的周年温光资源高效利用和产量潜能。

4 结 论

推迟播期,再生稻头季的生育期缩短再生季生育期延长,周年生育期缩短;再生稻周年产量、有效积温生产效率和太阳辐射生产效率均呈先增加后降低趋势,以适期早播(03-12, B_2)最高。与抢早播期(03-05, B_1)相比,适期早播(03-12, B_2)的再生稻头季生育期缩短 4.0 d,再生季生育期延长 2.5 d,周年生育期缩短 1.5 d,使得周年有效积温和太阳辐射分别增加 0.71% 和 0.68%。适期早播(03-12, B_2)的头季、再生季和周年产量分别较 B_1 高 8.34%、23.68% 和 13.39%,有效积温生产效率分别升高 6.78%、23.95% 和 12.61%,太阳辐射生产效率分别升高 5.41%、23.88% 和 12.68%。推迟播期(03-26, B_4 和 04-02, B_5)的再生稻两季光温分配失衡,导致周年产量、温光资源利用率同步降低。综上,在长江上游再生稻区,适期早播(03-12, B_2)有利于再生稻的周年温光资源的优化分配,进而实现再生稻头季和再生季产量和温光资源利用效率的协同提升。

参考文献 References

- [1] 林文雄, 陈鸿飞, 张志兴, 徐倩华, 屠乃美, 方长甸, 任万军. 再生稻产量形成的生理生态特性与关键栽培技术的研究与展望[J]. 中国生态农业学报, 2015, 23(4): 392-401
Lin W X, Chen H F, Zhang Z X, Xu Q H, Tu N M, Fang C X, Ren W J. Research and prospect on physio-ecological properties of ratoon rice yield formation and its key cultivation technology[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2015, 23(4): 392-401 (in Chinese)
- [2] 陈基旺, 帅泽宇, 屠乃美, 易镇邪. 湖南再生稻发展现状与对策分析[J]. 中国稻米, 2018, 24(5): 68-72
Chen J W, Shuai Z Y, Tu N M, Yi Z X. Analysis on development status and countermeasures of ratoon rice in Hunan[J]. *China Rice*, 2018, 24(5): 68-72 (in Chinese)
- [3] 解振兴, 朱业宝, 施龙清, 董萌, 张居念, 连玲, 吴春珠, 姜照伟. 种植方式

对再生稻产量、生育期和温光资源利用的影响[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2025, 53(2): 32-39

- Xie Z X, Zhu Y B, Shi L Q, Dong M, Zhang J N, Lian L, Wu C Z, Jiang Z W. Effect of crop establishment method on yield, growth duration and utilization of light and heat resources of ratooning rice [J]. *Journal of Northwest A&F University: Natural Science Edition*, 2025, 53(2): 32-39 (in Chinese)
- [4] 潘志军, 吴小文, 吴晨阳, 程取, 陈龙, 张晓红, 张进山, 周兵, 江波, 张文静, 车钊, 宋贺. 皖中不同类型再生稻品种产量与温光资源利用特征分析[J]. 浙江农业学报, 2024, 36(7): 1492-1501
Pan Z J, Wu X W, Wu C Y, Cheng Y, Chen L, Zhang X H, Zhang J S, Zhou B, Jiang B, Zhang W J, Che Z, Song H. Analysis of yield and utilization of temperature and light resources of different types of ratoon rice varieties in central Anhui, China[J]. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 2024, 36(7): 1492-1501 (in Chinese)
- [5] Zhang W J, Duan X J, Yao X, Liu Q M, Xiao R P, Zhang X W, Luo X, Tang Y Q, Yao Y J, Li J Y. Progress and challenges of rice ratooning technology in Chongqing Municipality, China[J]. *Crop and Environment*, 2023, 2(3): 137-146
- [6] Lin W X. Developmental status and problems of rice ratooning[J]. *Journal of Integrative Agriculture*, 2019, 18(1): 246-247
- [7] Peng S B, Zheng C, Yu X. Progress and challenges of rice ratooning technology in China[J]. *Crop and Environment*, 2023, 2(1): 5-11
- [8] 杨军, 阮妙鸿. 福建省再生稻生产: 举措、挑战与应对策略[J]. 福建农业科技, 2025, 56(2): 56-61
Yang J, Ruan M H. Measures, challenges and countermeasures of ratooning rice production in Fujian Province[J]. *Fujian Agricultural Science and Technology*, 2025, 56(2): 56-61 (in Chinese)
- [9] 林文雄, 翁佩莹, 林文芳, 邵彩虹, 郭春林, 李忠, 陈鸿飞, 陈婷. 中国机收再生稻研究现状与展望[J]. 应用生态学报, 2024, 35(3): 827-836
Lin W X, Weng P Y, Lin W F, Shao C H, Guo C L, Li Z, Chen H F, Chen T. Research status and prospect of ratoon rice in China under mechanically harvested condition[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2024, 35(3): 827-836 (in Chinese)
- [10] 翁伯琦, 林怡, 王义祥, 王小龙, 陈华, 李艳春. 南方沿海四省(区)再生稻发展与高质量生产体系构建[J]. 中国农业大学学报, 2024, 29(12): 209-217
Weng B Q, Lin Y, Wang Y X, Wang X L, Chen H, Li Y C. Development of ratooning rice and construction of high-quality production system in four coastal provinces (regions) in South China[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2024, 29(12): 209-217 (in Chinese)
- [11] 罗伟, 梅岫峰, 李强, 李钰春, 张凯, 李昱锐. 气候变化对川渝地区再生稻产业的影响与建议[J]. 中国稻米, 2024, 30(4): 70-74
Luo W, Mei X F, Li Q, Li Y C, Zhang K, Li Y R. Effects of climate change on ratoon rice industry in Sichuan-Chongqing Region and it's suggestions: Take Fushun County as an example[J]. *China Rice*, 2024, 30(4): 70-74 (in Chinese)
- [12] 王庆志, 丰大清, 杨幽, 孔倩, 刘祥臣, 张强. 豫南稻区再生稻生产主要气象灾害分析及对策[J]. 中国稻米, 2020, 26(3): 54-57, 60
Wang Q Z, Feng D Q, Yang Y, Kong Q, Liu X C, Zhang Q. Analysis and countermeasures for the major meteorological disasters in ratoon rice production in southern Henan[J]. *China Rice*, 2020, 26(3): 54-57, 60 (in

- Chinese)
- [13] 徐富贤, 袁驰, 王学春, 韩冬, 廖爽, 张志勇, 陈琨, 曾世清, 孔晓谦, 曾正明, 张林, 杨波, 蒋鹏, 周兴兵. 四川盆地东南部再生稻开花期受低温冷害的风险预测[J]. 中国稻米, 2023, 29(1): 92-97, 102
- Xu F X, Yuan C, Wang X C, Han D, Liao S, Zhang Z Y, Chen K, Zeng S Q, Kong X Q, Zeng Z M, Zhang L, Yang B, Jiang P, Zhou X B. Risk prediction of the damage of low temperature injury flowering period of ratooning rice in southeastern of Sichuan Basin[J]. *China Rice*, 2023, 29(1): 92-97, 102 (in Chinese)
- [14] 陶玥玥, 盛雪雯, 徐坚, 沈园, 王海候, 陆长婴, 沈明星. 长三角水稻-油菜周年两熟温光资源分配与利用特征[J]. 作物学报, 2023, 49(5): 1327-1338
- Tao Y Y, Sheng X W, Xu J, Shen Y, Wang H H, Lu C Y, Shen M X. Characteristics of heat and solar resources allocation and utilization in rice-oilseed rape double cropping systems in the Yangtze River Delta[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2023, 49(5): 1327-1338 (in Chinese)
- [15] 赵明, 周宝元, 马玮, 李从锋, 丁在松, 孙雪芳. 粮食作物生产系统定量调控理论与技术模式[J]. 作物学报, 2019, 45(4): 485-498
- Zhao M, Zhou B Y, Ma W, Li C F, Ding Z S, Sun X F. Theoretical and technical models of quantitative regulation in food crop production system[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2019, 45(4): 485-498 (in Chinese)
- [16] 杜祥备, 孔令聪, 习敏, 吴文革, 陈金华, 岳伟. 江淮区域稻麦两熟制周年资源分配、利用特征[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2019, 27(7): 1078-1087
- Du X B, Kong L C, Xi M, Wu W G, Chen J H, Yue W. Characteristics of resource allocation and utilization of rice-wheat double cropping system in the Jianghuai Area[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2019, 27(7): 1078-1087 (in Chinese)
- [17] 王孟佳, 殷敏, 褚光, 刘元辉, 徐春梅, 章秀福, 王丹英, 陈松. 长江中下游双季晚粳稻产量、生育时期及温光资源配置的生态性差异[J]. 中国水稻科学, 2021, 35(5): 475-486
- Wang M J, Yin M, Chu G, Liu Y H, Xu C M, Zhang X F, Wang D Y, Chen S. Ecological differences in yield, growth period and the utilization of temperature and light resources of double-cropping late japonica rice in the middle and lower reaches of the Yangtze River[J]. *Chinese Journal of Rice Science*, 2021, 35(5): 475-486 (in Chinese)
- [18] 马义虎, 何贤彪, 朱练峰, 余山红, 张中熙. 播期对浙东南地区直播晚粳稻产量、生育期及温光利用的影响[J]. 核农学报, 2022, 36(12): 2462-2473
- Ma Y H, He X B, Zhu L F, Yu S H, Zhang Z X. Effects of seeding dates on grain yield, growth period and utilization of temperature and sunshine of late Japonica rice under the direct seeding in southeastern Zhejiang Province[J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2022, 36(12): 2462-2473 (in Chinese)
- [19] 马义虎, 曾孝元, 何贤彪, 周奶弟, 陈剑. 浙东南地区优质稻产量与品质对不同播期气候因子的响应[J]. 浙江农业学报, 2023, 35(4): 736-751
- Ma Y H, Zeng X Y, He X B, Zhou N D, Chen J. Response of grain yield and quality of high-quality rice to climate factors at different sowing dates in southeastern Zhejiang Province, China[J]. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 2023, 35(4): 736-751 (in Chinese)
- [20] 张玮, 严玲玲, 傅志强, 徐莹, 郭慧娟, 周梦瑶, 龙攀. 播期对湖南省双季稻产量和光热资源利用效率的影响[J]. 中国农业科学, 2023, 56(1): 31-45
- Zhang W, Yan L L, Fu Z Q, Xu Y, Guo H J, Zhou M Y, Long P. Effects of sowing date on yield of double cropping rice and utilization efficiency of light and heat energy in Hunan Province[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2023, 56(1): 31-45 (in Chinese)
- [21] 习敏, 杜祥备, 吴文革, 孔令聪, 陈金华, 岳伟, 许有尊, 周永进. 稻麦两熟系统适期晚播对周年产量和资源利用效率的影响[J]. 应用生态学报, 2020, 31(1): 165-172
- Xi M, Du X B, Wu W G, Kong L C, Chen J H, Yue W, Xu Y Z, Zhou Y J. Effects of late sowing of two season crops on annual yield and resource use efficiency in rice-wheat double-cropping system[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2020, 31(1): 165-172 (in Chinese)
- [22] 徐富贤, 熊洪, 张林, 朱永川, 蒋鹏, 郭晓艺, 刘茂. 再生稻产量形成特点与关键调控技术研究进展[J]. 中国农业科学, 2015, 48(9): 1702-1717
- Xu F X, Xiong H, Zhang L, Zhu Y C, Jiang P, Guo X Y, Liu M. Progress in research of yield formation of ratooning rice and its high-yielding key regulation technologies[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2015, 48(9): 1702-1717 (in Chinese)
- [23] 徐春梅, 袁立伦, 陈松, 褚光, 叶为发, 丁玉华, 王丹英, 章秀福. 长江下游不同生态区双季优质晚稻生长特性和温光利用差异[J]. 中国水稻科学, 2020, 34(5): 457-469
- Xu C M, Yuan L L, Chen S, Chu G, Ye W F, Ding Y H, Wang D Y, Zhang X F. Difference in growth characteristics, utilization of temperature and illumination of double-cropping high-quality late rice in different ecological regions of the lower reaches of the Yangtze River[J]. *Chinese Journal of Rice Science*, 2020, 34(5): 457-469 (in Chinese)
- [24] 谌洁, 吕腾飞, 王志强, 王仲林, 林鄂, 李郁, 杨志远, 孙永健, 马均. 青菜/油菜茬口下水稻栽植方式对温光资源利用和产量的影响[J]. 应用生态学报, 2022, 33(2): 405-414
- Chen J, Lv T F, Wang Z Q, Wang Z L, Lin D, Li Y, Yang Z Y, Sun Y J, Ma J. Effects of planting methods on the utilization of temperature and sunshine resources and yield of rice under cabbage/rape-paddy cropping system[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2022, 33(2): 405-414 (in Chinese)
- [25] 高海涛, 王育红, 孟战赢, 席玲玲, 段国辉, 温红霞. 小麦-玉米双晚种植对周年产量和资源利用的影响[J]. 麦类作物学报, 2012, 32(6): 1102-1106
- Gao H T, Wang Y H, Meng Z Y, Xi L L, Duan G H, Wen H X. Effects of later sowing of winter wheat and later harvest of summer maize cropping system on yield and resources use efficiency of whole-year[J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2012, 32(6): 1102-1106 (in Chinese)
- [26] 李立娟, 王美云, 薛庆林, 崔彦宏, 侯海鹏, 葛均筑, 赵明. 黄淮海双季玉米产量性能与资源效率的研究[J]. 作物学报, 2011, 37(7): 1229-1234
- Li L J, Wang M Y, Xue Q L, Cui Y H, Hou H P, Ge J Z, Zhao M. Yield performance and resource efficiency of double-cropping maize in the yellow, Huai and Hai River valleys region[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2011, 37(7): 1229-1234 (in Chinese)
- [27] 周宝元, 王志敏, 岳阳, 马玮, 赵明. 冬小麦-夏玉米与双季玉米种植模式产量及光温资源利用特征比较[J]. 作物学报, 2015, 41(9): 1393-1405
- Zhou B Y, Wang Z M, Yue Y, Ma W, Zhao M. Comparison of yield and light-temperature resource use efficiency between wheat-maize and maize-maize cropping systems[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2015, 41(9): 1393-1405 (in Chinese)
- [28] 唐志强, 张丽颖, 何娜, 马作斌, 赵明珠, 王昌华, 郑文静, 银永安, 王辉. 机械旱直播对水稻生育进程、光合特性及产量的影响[J]. 作物杂志, 2021(5):

87-94

Tang Z Q, Zhang L Y, He N, Ma Z B, Zhao M Z, Wang C H, Zheng W J,

Yin Y A, Wang H. Effects of mechanical dry seeding on rice growth,

photosynthetic characteristics, and yield[J]. *Crops*, 2021(5): 87-94 (in Chinese)

责任编辑: 吕晓梅



第一作者简介: 梁子蒙, 博士, 重庆市农业科学院水稻研究所助理研究员, 水稻栽培耕作创新团队骨干成员, 从事水稻生理生态及机械化轻简栽培技术与推广工作。主持省部级项目 3 项, 以第一作者身份发表 SCI 论文 5 篇。



通讯作者简介: 姚雄, 博士, 现任重庆市农业科学院水稻研究所所长、党支部书记, 院工会委员, 研究员。重庆市水稻产业技术体系创新团队副首席, 重庆市农学会常务理事、中国农学会耕作分会理事、中国作物学会理事。主持(研)省部级课题 24 项, 提出决策建议 8 项, 发表论文 70 篇, 授权专利 20 件, 制订地方标准 10 项, 研制水稻新品种、新技术 12 项。其中, 杂交中稻-再生稻高产高效技术、弱光高湿条件下水稻“稀植攻中”栽培技术等成果总体达到同类研究的国际领先水平, 宜机化区中稻-再生稻全程机械化丰产优质技术入选 2023 年全国农业主推技术。研究成果获重庆市科技进步一等奖 2 项、三等奖 1 项, 神农中华农业科技奖一等奖 1 项、二等奖 1 项。获重庆市先进工作者、重庆市第三批学术技术带头人后备人选等称号。



通讯作者简介: 张巫军, 博士, 现任重庆市农业科学院逆境农业研究重庆市重点实验室副研究员, 重庆再生稻研究中心主任, 重庆市水稻产业技术体系渝西再生稻综合试验站站长, 重庆市科技特派员。从事水稻生理生态及机械化轻简栽培技术与推广工作, 包括丘陵地区水稻优质高产群体质量调控、水稻机械化轻简栽培、水稻耐热避逆栽培及水稻抗倒伏机理与调控等方面的研究。主持(研)国家自然科学基金、国家重点研发计划子课题等省部级科研项目 20 余项。编制重庆市地方标准 8 项, 编写学术专著 2 部, 荣获重庆市科技进步一等奖 1 项, 二等奖 1 项, 神农中华农业科技奖二等奖 1 项, 四川省科技进步奖二等奖 1 项, 发表论文 40 余篇, 其中以第一或通讯作者发表 SCI 论文 10 篇, 研究论文多次获得中国科协、重庆市科协、重庆市农学会等优秀论文表彰。