

丁梦娇, 李 虎, 邹 丹, 等. 不同化学调控剂对再生稻生长发育及周年产量的影响[J]. 江苏农业学报, 2023, 39(3): 683-691.
doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2023.03.008

不同化学调控剂对再生稻生长发育及周年产量的影响

丁梦娇¹, 李 虎², 邹 丹³, 罗友谊⁴, 郑华斌¹, 王慰亲¹, 唐启源¹

(1. 湖南农业大学农学院, 湖南 长沙 410128; 2. 岳阳市农业科学研究院, 湖南 岳阳 41400; 3. 衡阳市农业科学院, 湖南 衡阳 421100; 4. 衡山县农业农村局, 湖南 衡阳 421300)

摘要: 为提高再生稻抗逆能力和周年产量, 本研究以杂交稻湘两优 900 为供试材料, 于 2019–2020 年比较研究了喷施清水(CK)、喷施芸薹素内酯(T1)、喷施吡唑醚菌酯(T2)、喷施芸薹素内酯+吡唑醚菌酯(T3)、喷施芸薹素内酯+吡唑醚菌酯+助剂(T4)对再生稻生长发育和产量形成的影响。结果表明, 4 种化学调控剂处理均显著提高再生稻的周年产量, 其中 T4 处理产量最高, 显著高于其他处理 ($P<0.05$); 从产量构成来看, T4 处理显著提高了结实率和千粒质量 ($P<0.05$)。此外, 叶片 SPAD 值表明 T4 处理延缓了头季和再生季再生稻剑叶衰老, 2020 年受寒露风事件的影响, T4 处理提高了再生季再生稻花粉活力、减轻了再生季再生稻稻瘟病、卡颈、稻曲病等危害。因此, T4 处理提高了再生稻抗逆能力和延缓了叶片衰老, 显著提高了结实率和千粒质量, 进而提高了再生稻周年产量。

关键词: 再生稻; 化学调控剂; 抗逆能力; 产量; 结实率

中图分类号: S482.8 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2023)03-0683-09

Effects of different chemical regulation compounds on growth and annual yield of ratoon rice

DING Meng-jiao¹, LI Hu², ZOU Dan³, LUO You-yi⁴, ZHENG Hua-bin¹, WANG Wei-qin¹, TANG Qi-yuan¹

(1. College of Agronomy, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China; 2. Yueyang Academy of Agricultural Sciences, Yueyang 41400, China; 3. Hengyang Academy of Agricultural Sciences, Hengyang 421100, China; 4. Hengshan County Agricultural and Rural Bureau, Hengyang 421300, China)

Abstract: In order to screen chemical regulation compounds suitable for improving the stress resistance and annual yield of ratoon rice, this paper took hybrid rice Xiangliangyou 900 as the test material to conduct a comparative study in 2019–2020. The effects of spraying water (CK), brassinolide (T1), pyraclostrobin (T2), brassinolide + pyraclostrobin (T3), and brassinolide + pyraclostrobin + adjuvant (T4) on the growth and yield formation of ratoon rice were compared. The results showed that compared with CK, the four chemical regulator treatments all significantly increased the annual yield of ratoon rice. The yield under T4 treatment was the highest, which was significantly higher than that under other treatments ($P<0.05$). From the perspective of yield composition, T4 treatment significantly increased the seed setting rate

and thousand-grain weight ($P<0.05$). In addition, leaf SPAD value indicated that T4 treatment could delay the aging of sword leaves in two seasons. Under the impact of cold dew wind weather in 2020, T4 treatment improved the pollen vitality and reduced the hazards of rice blast, rice stranglehold and rice false smut in the regeneration season. In conclusion, T4 treatment significantly increased seed

收稿日期: 2023-01-06

基金项目: 国家水稻产业技术体系岗位科学家项目 (CARS-01-27)

作者简介: 丁梦娇 (1996–), 女, 湖南益阳人, 硕士, 主要研究方向为再生稻高产优质高效栽培理论与技术。(E-mail) 1823303958@qq.com

通讯作者: 唐启源, (E-mail) qytang@hunau.edu.cn

setting rate and thousand grain weight, enhanced stress resistance and delayed leaf senescence, and then increased the annual yield of ratoon rice.

Key words: ratoon rice; chemical regulation compounds; stress resistance; yield; seed setting rate

再生稻种植是南方稻区种植一季稻热量有余而种植双季稻热量不足的地区提高复种指数和稻田单产的措施之一^[1]。但再生稻有着较长的周年生育期,在头季苗期易受低温胁迫、抽穗孕穗期和成熟期易受高温胁迫;再生季则易受到寒露风的影响而导致再生发苗减少^[2]、叶片衰老变枯黄^[3]、结实率和米质降低^[4-6]等问题。同时,头季稻倒伏和收获时的机械碾压损伤会显著抑制再生芽萌发,造成再生季减产。此外,稻瘟病、纹枯病和稻飞虱等生物逆境亦会对再生稻的生长造成严重的影响。再生稻种植作为当前南方水稻生产的 3 种主体种植模式之一,其产量和品质也是中国粮食安全的重要保障^[7]。因此,采用防控措施提升再生稻的抗逆能力,对保证再生稻周年安全生产及稻米品质的协同提高具有重要意义。

目前,随着中国人口的剧增,传统的水稻种植技术无法突破水稻产量进一步增长的瓶颈,所以,通过应用新的化学调控技术配合传统的水稻种植技术成为实现水稻高产优质的重要手段之一^[8]。随着当前化学调控技术的快速发展与高效应用,一些化学调控剂已经在培育壮苗、株型调控、养分运输分配、抗逆栽培等研究领域有了新进展^[9-10],如,芸薹素内酯,合理利用能增强作物的抗逆性,降低丙二醛含量^[11],从而调节作物的生长发育,提高产量,改善品质^[12-13],是现代农业生产实现增产增收的主要途径之一^[14];吡唑醚菌酯,为甲氧基丙烯酸酯类杀菌剂,在水稻分蘖期、抽穗期、齐穗期施用,对稻瘟病、纹枯病、稻曲病均有显著防治效果^[15-16],吡唑醚菌酯作为现代农业生产上大范围应用的新型广谱杀菌剂、线粒体呼吸抑制剂,对叶片的渗透传导功能有显著的保护作用^[17]。此外,有效的化学调控都会通过助剂(主要成分为多元醇型非离子表面活性剂)与化学调控剂的混用来提高药剂的药力和药效,而这一类化合物本身并没有生物活性或生物活性较低^[18-19]。然而,在实际生产中,这些化学调控剂在再生稻生产上的应用却很少,并且再生稻的再生调控机理一直模糊不清,高效稳定的化学调控技术研究没有获得突破^[7]。本研究拟采用芸薹素内酯和吡唑醚菌酯的单一或混合施用,探究该化学调节剂

对再生稻抗逆能力、产量和品质的影响,以增强再生稻全生育期抗逆能力,为再生稻周年高产稳产提供技术支撑。

1 材料与方法

1.1 试验地点与供试品种

大田试验于 2019 年 3-10 月在湖南省益阳大通湖区湖南农业大学试验基地(112°26'E, 29°08'N)进行,土壤成土母质系河湖沉积物,土壤基础地力为:pH 8.02,有机质含量 27.9 g/kg,有效氮含量 117.37 mg/kg,有效磷含量 15.57 mg/kg,缓效钾含量 335.30 mg/kg,速效钾含量 111.07 mg/kg;2020 年 3-10 月在湖南省岳阳市农业科学研究院科研试验区(29.4°N, 113°E)进行试验,试验地土壤质地为潮泥土,土壤(0~20 cm)含有机质 22.51 g/kg,全氮 1.36 g/kg,速效钾 61.27 mg/kg,速效磷 20.11 mg/kg,pH 值 5.7。供试品种为湘两优 900。

1.2 试验设计

随机区组设计,设 2 种单一药剂处理,即芸薹素内酯(T1)、吡唑醚菌酯(T2),2 种组合药剂处理,即芸薹素内酯和吡唑醚菌酯组合(T3)、T3 基础上增加助剂(T4),以清水为对照(CK),3 次重复,小区面积 20 m²。芸薹素内酯采用芸苔素乳油,有效成分含量为 0.01%;吡唑醚菌酯采用吡唑醚菌酯乳剂,有效成分含量 9%;助剂为多元醇型非离子表面活性剂,含量为 63%。于再生稻头季分蘖期、孕穗期、抽穗期、再生季发苗期和齐穗期喷施,单次喷施量,芸苔素乳油为 300 ml/hm²,吡唑醚菌酯乳剂为 450 ml/hm²,多元醇型非离子表面活性剂为 25 ml/hm²,兑水量为 225 L/hm²。施药时间在上午 10 点以前或下午 4 点以后。

3 月 30 日播种,湿润育秧,4 月 29 日移栽,株行距为 16.5 cm×20.0 cm,每穴苗数为 3 本,小区四周设不少于 4 行的保护行。再生稻头季和再生季施氮量分别为 180 kg/hm²和 105 kg/hm²(纯氮),再生稻头季施磷肥(P₂O₅)和钾肥(K₂O)的量均为 180 kg/hm²。水分和病虫草害管理按当地高产栽培技术进行。

1.3 测定项目和测定方法

1.3.1 生育期记载 记录再生稻头季播种期、抽穗期、齐穗期、成熟期、再生季抽穗期和成熟期。

1.3.2 干物质积累 于头季和再生季齐穗期、成熟期,按单穴平均茎蘖数采集5穴植株,茎鞘、叶、穗分开,105℃杀青30 min后,80℃烘干至恒质量,称质量,备用。

1.3.3 花前和花后干物质积累与转运的测定 花后干物质积累量(ΔW , t/hm²),即头季成熟期地上部干物质质量与头季齐穗期地上部干物质质量的差值或再生季成熟期与齐穗期地上部干物质质量的差值(均不含稻桩干质量);

花后干物质积累对产量的贡献率(Wr)= ΔW /饱满籽粒干质量 $\times 100\%$;

花前积累的干物质向籽粒的转运量(ΔT , t/hm²)=饱满籽粒干质量- ΔW

1.3.4 剑叶叶绿素含量(SPAD值) 于抽穗期,选择同时抽穗的稻穗,吊牌标记,采用日本产SPAD-502型SPAD仪测定稻株剑叶上、中、下3个点的SPAD值,每个小区测15片叶,取平均值,每隔5 d测1次。

1.3.5 病害防治效果调查 在水稻成熟期调查,每个小区共调查10穴,分级调查记载后,计算病株率,病情指数。

稻瘟病病株率=(发生稻瘟病株数/调查株数) $\times 100\%$;

稻瘟病病情指数= Σ (各级稻瘟病病穗数 \times 相对级数值)/(调查总穗数 \times 最高级数值) $\times 100\%$;

病穗率=发病穗数量/调查总穗数 $\times 100\%$;

麻壳率=麻壳的水稻谷粒数量/调查总粒数 $\times 100\%$;

卡颈率=卡颈穗数量/调查总穗数 $\times 100\%$ 。

1.3.6 花粉活力 于再生稻再生季抽穗期的上午,取当天或次日即将开放的颖花,用镊子取出颖壳内

的花药,放置于载玻片上,并滴加2~3滴1%的碘化钾溶液,用镊子将其捣碎并混匀,盖上盖玻片,置于显微镜下观察,随机选取3个视野镜检,拍照记录每个视野内花粉总数、染色花粉数和未染色或半染色花粉数,计算花粉可染率,通过花粉可染率来表示花粉活力。

花粉活力=染色花粉数/花粉总数 $\times 100\%$ 。

1.3.7 测产与考种 水稻成熟期,每个处理小区内选取面积为5 m²接近正方形的测产区域,采用人工收割脱粒,晒干风选后再称取干质量,根据14.0%的含水率来计算测产水稻的实际产量。同时,沿着测产小区的对角线方向,选取10株具有代表性的植株,去根,然后将样品分剪成稻草(叶片+茎秆)和稻穗,手工脱粒,并考察产量构成因素。

1.4 数据处理

使用Microsoft Excel 2007进行数据收集整理和作图,使用Statistics 8.0软件对试验数据进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 气候条件与气候事件

由表1可见,2019年再生稻头季和再生季抽穗-成熟期分别为38 d(7月13日-8月20日)和33 d(9月30日-11月2日);2020年再生稻头季和再生季抽穗-成熟期分别为39 d(7月15日-8月23日)和41 d(10月05日-11月15日)。

由表2和表3可见,2019年头季出现极端高温(>35℃)气候事件2次,持续天数分别为21 d和10 d,2019年比2020年再生稻头季抽穗-成熟期、再生季抽穗-成熟期的日平均温度高5.7℃(表2)和3.0℃(表3)。由表1可见,2020年比2019年再生季齐穗期晚4~5 d,而由表2和表3可知,2019年再生季齐穗期刚好遭遇极端低温天气,2020年9月14日以后出现连续17 d低于22℃的气候事件,2年的再生季齐穗期均受到了低温寒露风的影响。

表1 2019年至2020年再生稻的生育期

Table 1 The growth period of ratoon rice from 2019 to 2020

年份	头季				再生季		全生育期 (d)
	播种期 (月-日)	移栽期 (月-日)	齐穗期 (月-日)	成熟期 (月-日)	齐穗期 (月-日)	成熟期 (月-日)	
2019	03-26	04-25	07-13	08-20	09-30	11-02	216
2020	03-30	04-29	07-15	08-23	10-05	11-15	225

表 2 2019–2020 年头季抽穗-成熟期的气候条件及气候事件

Table 2 Climate condition and climate events from heading stage to mature stage of main season in 2019–2020

年份	日平均温度 (℃)	降雨量 (mm)		日照时数 (h)	极端高温 (>35℃) 天数	极端高温(>35℃)气候事件	
		8:00–20:00	全天			次	单次持续天数 (d)
2019	29.9	81.7	153.1	460.1	31	2	21、10
2020	24.2	211.5	480.4	358.8	2	0	0

形成气候事件的时间需要持续 3 d 以上。

表 3 2019–2020 年再生季抽穗-成熟期的气候条件及气候事件

Table 3 Climate condition and climate events from heading stage to mature stage of ratooning season in 2019–2020

年份	日平均温度 (℃)	低温(日平均 温度<22℃) 天数(d)	降雨量 (mm)		日照时数 (h)	寒露风首日及持续时间	
			8:00–20:00	全天		首日日期 (月-日)	持续天数 (d)
2019	23.0	31	40.4	81.3	356.7	10-05	5
2020	20.0	42	182.6	346.2	146.4	09-14	17

2.2 不同化学调控剂对头季再生稻产量形成的影响

2.2.1 产量及产量构成 由表 4 可知,与 CK 相比,单一施用和组合施用化学调控剂提高了头季再生稻的产量。2 年均以 T4 处理的产量最高,分别为 8.63 t/hm²和 9.86 t/hm²,均显著高于 CK、T1 处理、T2 处理、T3 处理($P<0.05$),2 年的试验结果规律一致。从产量构成来看,2 年试验中 T4 处理的千粒质量最高且显著高于 CK,2019 年试验中 T4 处理较 CK

显著提高了结实率,但与 T1、T2、T3 处理间差异不显著,2020 年试验中 T4 处理较其他处理显著提高了头季再生稻的结实率(T3 处理除外,T4 处理与 T3 处理相比无显著差异)。T4 处理平均 2 年的结实率和千粒质量与 CK 相比分别高出 19.52%和 2.45%。T4 处理头季再生稻的增产效果最佳的主要原因是提高了结实率和千粒质量。

表 4 不同化学调控下头季再生稻的产量及产量构成因素

Table 4 First season yield and yield components of ratoon rice under different chemical regulation compounds

年份	药剂处理	实际产量 (t/hm ²)	穗数 (穗,1 m ²)	每穗粒数 (粒)	结实率 (%)	千粒质量 (g)
2019	CK	6.43d	158a	253ab	55.80c	22.39b
	T1	7.02c	163a	259a	67.37b	22.81ab
	T2	7.32bc	166a	224bc	68.16ab	22.58ab
	T3	7.63b	173a	228bc	71.40a	22.44b
	T4	8.63a	182a	218c	70.52ab	22.92a
2020	CK	8.07d	197b	268a	73.91c	22.37d
	T1	8.49c	221a	245a	77.31bc	22.49c
	T2	8.60c	215ab	261a	78.53bc	22.61c
	T3	9.20b	226a	230a	81.65ab	22.73b
	T4	9.86a	212ab	243a	83.27a	22.94a

CK:清水对照;T1:芸薹素内酯;T2:吡唑醚菌酯;T3:T1+T2 组合;T4:T3+助剂。同一年份同列数据后不同字母表示处理间差异显著($P<0.05$)。

2.2.2 群体干物质积累及其对籽粒贡献 不同化学调控剂处理对头季再生稻花前和花后干物质的积累和转运有显著的影响(表 5)。与 CK 相比,2019

年 T1 处理显著增加了花后干物质积累量,同时,2020 年 T4 处理头季齐穗期地上部干物质质量均显著高于其他处理,为 12.74 t/hm²。与 CK 相比,2020

年 T4 处理显著增加了花前干物质转运量,显著提高了花前干物质积累对籽粒产量的贡献。

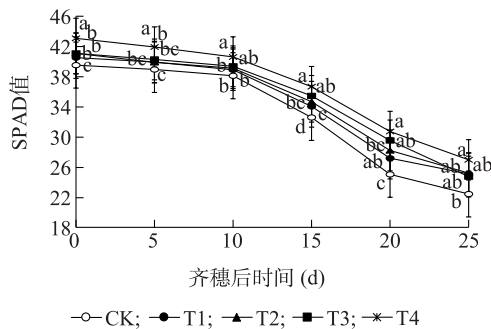
表 5 不同化学调控下头季再生稻的干物质积累

Table 5 Dry matter accumulation of ratoon rice in the mian season under different chemical manipulations

年份	药剂处理	齐穗期 干物质质量 (t/hm ²)	成熟期 干物质质量 (t/hm ²)	籽粒干质量 (t/hm ²)	花后干物质 积累量 (t/hm ²)	花前积累 干物质转运量 (t/hm ²)	花后积累 干物质对籽粒 的贡献(%)	花前积累 干物质对籽粒 的贡献(%)
2019	CK	9.47a	13.49a	5.00b	4.02b	0.98ab	81.69a	18.31a
	T1	8.94a	14.59a	6.45a	5.66a	0.79ab	87.75a	12.25a
	T2	9.53a	14.58a	5.70ab	5.05ab	0.65b	87.53a	12.47a
	T3	10.52a	14.70a	6.29a	4.18b	2.11a	66.75a	33.25a
	T4	10.88a	15.39a	6.44a	4.51ab	1.92ab	70.76a	29.24a
2020	CK	9.52d	18.66a	9.52d	9.14a	-0.85b	109.92a	-9.92b
	T1	10.25c	19.13a	10.25 c	8.88a	0.14ab	98.38ab	1.62ab
	T2	10.39c	19.87a	10.39c	9.48a	-0.14b	100.84ab	-0.84ab
	T3	11.70b	19.52a	11.70b	7.82a	1.42ab	84.50ab	15.50ab
	T4	12.74a	19.94a	12.74a	7.21a	2.35a	74.27b	25.73a

CK、T1、T2、T3、T4 见表 4 注。同一年份同列数据后不同字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$)。

2.2.3 头季再生稻齐穗期 SPAD 值动态 由图 1 可见,各处理头季再生稻齐穗期 SPAD 值随着时间的推移均呈逐步下降的趋势。头季再生稻齐穗期 T4 处理 SPAD 值均显著高于其他处理,总体呈现 $T4 > T3 > T2 > T1 > CK$ 的趋势,且从齐穗期起,CK 的 SPAD 值急剧下降,齐穗后第 15 d、20 d、25 d, T4 处理的 SPAD 值均显著高于 CK。



CK、T1、T2、T3、T4 见表 4 注。同一时间不同字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$)。

图 1 不同化学调控下 2020 年头季再生稻齐穗期 SPAD 值动态
Fig.1 Dynamic SPAD values at the ratoon rice ear stage in the main season of 2020 under different chemical regulation compounds

2.3 不同化学调控剂对再生季再生稻产量形成的影响

2.3.1 产量及产量构成 由表 6 可知,与 CK 相比,单一施用或组合施用化学调控剂提高了再生季再生

稻的产量。2019 年以 T4 处理的产量最高,显著高于 CK、T1 处理、T3 处理,但与 T2 处理无显著差异,2020 年 T4 与 T3 处理的产量均显著高于其他处理,其中以 T3 处理的产量最高,达到了 3.16 t/hm^2 ,且 T4 处理与 T3 处理间无显著差异。2019 年与 2020 年 T4 处理的产量分别为 6.21 t/hm^2 和 3.15 t/hm^2 。从产量构成来看,2019 年与 2020 年 T4 处理的结实率与千粒质量均为最高,且均显著高于 CK, T4 处理平均 2 年的结实率和千粒质量与 CK 相比分别高出 26.36% 和 6.21%。T4 处理再生季再生稻增产的最主要原因是提高了结实率和千粒质量。

2.3.2 群体干物质积累及其对籽粒的贡献 不同化学调控剂处理对再生季再生稻花前和花后干物质的积累和转运有显著的影响(表 7)。与 CK 相比,2019 年 T3 处理显著增加了花后积累干物质对籽粒的贡献, T3 与 T4 处理的花后干物质积累量也显著提高,2 年 T4 处理再生季再生稻成熟期地上部干物质质量最高,且显著高于 CK ($P < 0.05$),分别达到 12.96 t/hm^2 和 13.78 t/hm^2 ,但与其他化学调控剂处理间差异不显著 ($P > 0.05$)。

2.3.3 再生季再生稻齐穗期 SPAD 值动态 由图 2 可见,再生季再生稻齐穗期的 SPAD 值随着时间的推移,各处理均呈逐步下降的趋势。但与 CK 相比,再生季再生稻齐穗后 20 d, T4、T1 处理的再生稻叶片 SPAD 值显著高于 CK,其中 T4 处理的 SPAD 值最高。

表 6 不同化学调控下再生季再生稻的产量及产量构成因素

Table 6 Seasonal yield and yield components of ratoon rice in regeneration season under different chemical regulation compounds

年份	药剂处理	产量 (t/hm ²)	有效穗 (穗, 1 m ²)	每穗粒数 (粒)	结实率 (%)	千粒质量 (g)
2019	CK	4.70cd	285a	133a	53.11b	21.35b
	T1	4.54d	283a	130a	51.51b	21.59b
	T2	6.00ab	310a	124a	62.36a	22.09ab
	T3	5.40bc	315a	132a	60.78a	21.93ab
	T4	6.21a	318a	127a	64.88a	22.53a
2020	CK	2.38d	318c	104a	40.51d	18.74d
	T1	2.74c	330bc	104a	46.80c	18.97c
	T2	2.93b	346bc	105a	48.55c	19.10c
	T3	3.16a	441a	74a	50.76b	19.67b
	T4	3.15a	407ab	92ab	52.89a	20.03a

CK、T1、T2、T3、T4 见表 4 注。同一年份同列数据后不同字母表示处理间差异显著 ($P<0.05$)。

表 7 不同化学调控下再生季再生稻的干物质积累

Table 7 Dry matter accumulation of ratoon rice in the ratooning season under different chemical regulation compounds

年份	药剂处理	齐穗期 干物质质量 (t/hm ²)	成熟期 干物质质量 (t/hm ²)	籽粒干质量 (t/hm ²)	花后干物质 积累量 (t/hm ²)	花前积累 干物质转运量 (t/hm ²)	花后积累 干物质对籽粒 的贡献 (%)	花前积累 干物质对籽粒 的贡献 (%)
2019	CK	8.26a	10.95b	4.27bc	2.69b	1.58a	60.06b	39.94a
	T1	7.79a	10.98b	4.10c	3.19ab	0.90a	75.87ab	24.13ab
	T2	8.52a	12.52ab	5.25ab	4.00ab	1.25a	76.48ab	23.52ab
	T3	8.02a	12.92a	5.48a	4.89a	0.58a	89.45a	10.55b
	T4	8.05a	12.96a	5.87a	4.91a	0.97a	83.43ab	16.57ab
2020	CK	8.26a	11.01b	2.49c	2.77a	-0.27a	105.99a	-5.99a
	T1	8.34a	11.74ab	3.03bc	3.39a	-0.36a	109.68a	-9.68a
	T2	8.28a	12.52ab	3.39ab	4.24a	-0.85a	127.58a	-27.58a
	T3	8.95a	12.40ab	3.20abc	3.45a	-0.27a	108.87a	-8.87a
	T4	8.87a	13.78a	3.96a	4.91a	-0.95a	118.87a	-18.87a

CK、T1、T2、T3、T4 见表 4 注。同一年份同列数据后不同字母表示处理间差异显著 ($P<0.05$)。

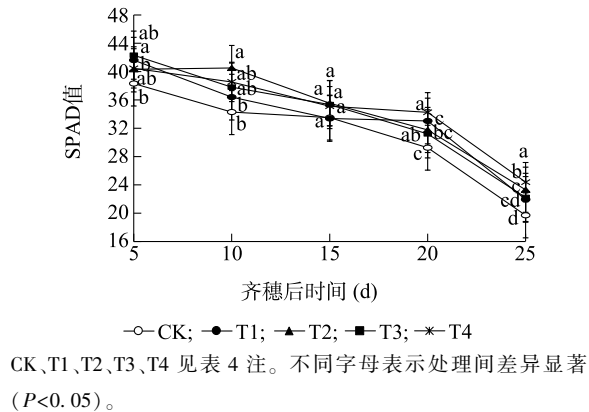
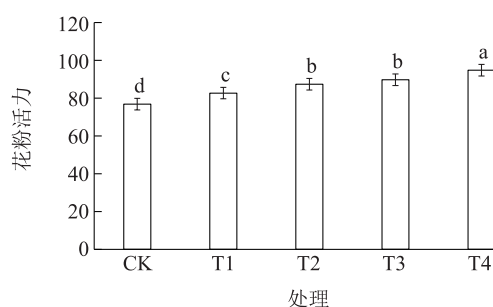


图 2 不同化学调控下 2020 年再生季再生稻齐穗期 SPAD 动态
Fig.2 Dynamic SPAD values at the ratoon rice ear stage in the ratooning season of 2020 under different chemical regulation compounds

2.3.4 再生季再生稻花粉活力 由图 3 可知,与 CK 相比,各处理对再生季再生稻的花粉活力均影响显著,再生季不同药剂处理均能提高花粉活力,其中以 T4 处理提高的幅度最大,效果最好。与 CK 相比, T1、T2、T3 和 T4 处理花粉活力分别显著提高 7.56%、10.58%、16.73%、23.34%。

2.3.5 再生季再生稻抗性差异 由表 8 可知,与 CK 相比,4 种不同化学调控剂处理均在一定程度上增强了再生季再生稻的抗病抗寒性。T1、T2、T3、T4 处理的卡颈率分别比 CK 降低了 7.80 个、8.62 个、7.48 个、10.10 个百分点,麻壳率降低了 7.41 个、10.41 个、13.20 个、13.58 个百分点;稻曲病感病率分别比 CK 降低了 8.58 个、11.75 个、10.86 个、14.53 个百分点。



CK、T1、T2、T3、T4 见表 4 注。不同字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$)。

图 3 不同化学调控下 2020 年再生季再生稻的花粉活力

Fig.3 Pollen viability of ratoon rice in the 2020 ratooning season under different chemical regulation compounds

表 8 不同化学调控下 2020 年再生季再生稻的抗病性与抗寒性

Table 8 Disease resistance and cold resistance of ratoon rice in the 2020 ratooning season under different chemical regulation compounds

处理	卡颈率 (%)	麻壳率 (%)	感病率 (%)		病情指数 (%)	
			稻曲病	穗颈瘟	颈瘟	叶瘟
CK	80.21	58.75	22.22	16.05	16.05	14.14
T1	72.41	51.34	13.64	10.23	10.23	6.44
T2	71.59	48.34	10.47	6.25	3.75	5.16
T3	72.73	45.55	11.36	5.68	3.41	4.03
T4	70.11	45.17	7.69	4.81	0.96	3.25

CK、T1、T2、T3、T4 见表 4 注。

2.4 不同化学调控剂处理对再生稻周年产量的影响

由图 4 可知,不同化学调控剂处理对再生稻的周年产量有显著的影响。与 CK 对比,T4、T3、T2 处理显著提高了再生稻的周年产量,其中以 T4 的增产效果最为显著,分别达到 14.84 t/hm^2 、 13.01 t/hm^2 ,T4 处理的周年产量比 CK 显著增加了 28.46% (2019 年)、20.73% (2020 年)。

3 讨论

3.1 不同化学调控剂对再生稻产量及产量构成的影响

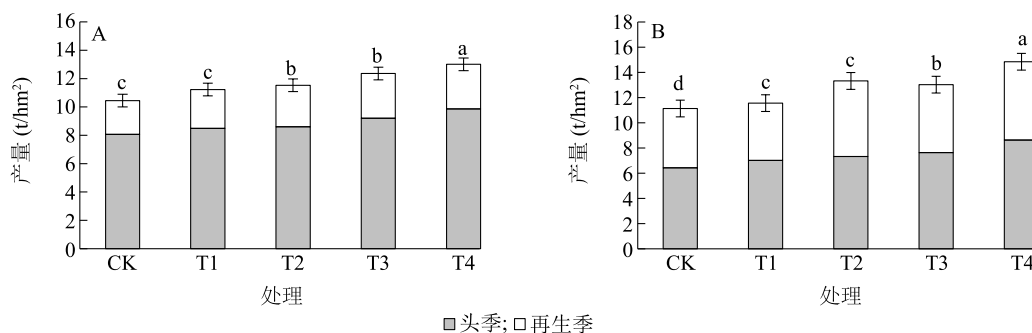
本研究结果表明,单一施用或组合施用化学调控剂均提高了再生稻群体的产量,其中 T4 处理显著增产且效果最佳。从产量构成来看,化学调控剂处理下的千粒质量与结实率显著高于 CK。有研究表明,籽粒产量构成的一部分物质是抽穗前营养

器官的同化产物向穗部转化^[20],本试验中,2019 年头季再生稻孕穗灌浆期日平均温度高,出现高温热害,而 2020 年再生季寒露风出现时间早,导致再生季再生稻孕穗灌浆期遭遇低温冷害。通过不同化学调控剂处理获得高产,原因可能是通过喷施不同化学调控剂,前期干物质积累快,营养生长好,能减少活性氧的积累,提高超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)等抗氧化酶活性和抗坏血酸(AsA)、谷胱甘肽(GSH)等非酶抗氧化剂含量^[21-22],可以调节水稻体内的渗透过程,降低相对电导率,从而降低高温和低温胁迫下细胞膜的损伤,稳定膜系统结构,减轻在逆境下所产生的有害物质对植物功能的损害^[23],缓解了高温热害、低温冷害对花粉活力的影响,为后期生殖生长奠定了良好的基础,同时,通过喷施化学调控剂可能提高叶片细胞内的叶绿素含量,增加核酮糖二磷酸羧化酶的活性^[24],促进叶片 CO_2 的固定速率,加强了同化物转运效率,也提高了籽粒库容活力,加速细胞增殖分裂,进而提高籽粒的灌浆速率从而提高千粒质量和结实率,增加每穗实粒数,提高再生稻产量。

3.2 不同化学调控剂对再生稻生长发育的影响

已有研究结果表明,孕穗后的水稻将进入生殖生长阶段,抽穗后光合产物直接向穗部输送,植株氮素的供应逐渐从叶片转到籽粒,因此稻叶中的叶绿素含量逐渐减少,叶片开始变黄,至黄熟期时,穗部成为氮素供应的主要部位,SPAD 值降至最低^[20]。叶片衰老会导致光合作用强度下降,尤其在灌浆结实期,叶片衰老的速度会影响水稻的产量,而延缓水稻叶片衰老有助于提高产量^[25],SPAD 值可以间接反映水稻叶片叶绿素含量及氮含量^[26],因此,水稻增产的有效手段之一是提高灌浆结实期叶片 SPAD 值^[27]。本研究中,与 CK 相比,再生季再生稻齐穗期,T1 处理和 T4 处理减缓了叶片 SPAD 值下降的速度,有效提高了水稻剑叶叶绿素含量^[28-29],延长了冠层叶片功能期,使光合作用维持在较高水平,保证了作物生长后期的光合效率,进而提高再生稻产量。

研究表明,吡唑醚菌酯对水稻的穗颈瘟、纹枯病均有一定的防治效果^[30-31],喷施芸薹素内酯能够缓解植物受到不良环境(如冷害)的胁迫^[32-33],使得水稻体内自由基^[34]和丙二醛^[11]含量降低,从而提高水稻抗逆性。而芸薹素内酯+吡唑醚菌酯混合



A: 2019 年再生稻周年产量; B: 2020 年再生稻周年产量。CK、T1、T2、T3、T4 见表 4 注。不同字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$)。

图 4 不同化学调控剂对再生稻周年产量的影响

Fig.4 Effects of different chemical regulation compounds on annual yield of ratoon rice

化学调控剂的使用,对水稻纹枯病和稻曲病的防效比常规杀菌剂高^[35],本研究结果也显示,再生季再生稻抽穗期遇到低温,通过喷施不同化学调控剂,减少了再生稻稻瘟病株数,有效减少了再生季再生稻的抽穗卡颈问题,缓解了稻曲病的发生,进而减少产量的损失。

4 结论

在再生稻的生产上喷施芸薹素内酯+吡唑醚菌酯+助剂(T4 处理)能显著提高再生稻周年产量,主要原因是施用芸薹素内酯+吡唑醚菌酯+助剂后,能有效增强再生季再生稻的抗逆性和抗病性,减轻头季再生稻穗期高温和再生季再生稻穗期低温等产生的不利影响,提高结实率和干物质的积累,从而提高再生稻周年产量。

参考文献:

- [1] 陈鸿飞,杨东,梁义元,等. 头季稻氮肥运筹对再生稻干物质积累、产量及氮素利用率的影响[J]. 中国生态农业学报, 2010, 18(1): 50-56.
- [2] 源泉,杜康,林赵森,等. 再生稻再生芽萌发期降水量和作物需水量的年际变化特征分析[J]. 干旱地区农业研究, 2016, 34(3): 66-71.
- [3] 唐余学,罗擎擎,范莉,等. 基于关键气象因子的中稻单产动态预报[J]. 中国农业气象, 2011, 32(S1): 140-143.
- [4] 盛婧,陶红娟,陈留根. 灌浆结实期不同时段温度对水稻结实与稻米品质的影响[J]. 中国水稻科学, 2007, 21(4): 396-402.
- [5] 谢晓金,李秉柏,李映雪,等. 抽穗期高温胁迫对水稻产量构成要素和品质的影响[J]. 中国农业气象, 2010, 31(3): 411-415.
- [6] 张桂莲,张顺堂,肖浪涛,等. 花期高温胁迫对水稻花药生理特性及花粉性状的影响[J]. 作物学报, 2013, 39(1): 177-183.
- [7] 唐启源,青先国. 湖南再生稻技术进步与生产发展对策[J/OL]. 杂交水稻, 2022. doi: 10.16267/j.cnki.1005-3956.20220603.246.
- [8] 王志敏,王树安. 发展超高产技术,确保中国未来 16 亿人口的粮食安全[J]. 中国农业科技导报, 2000, 2(3): 8-11.
- [9] 裴海荣,李伟,张蕾,等. 植物生长调节剂的研究与应用[J]. 山东农业科学, 2015, 47(7): 142-146.
- [10] 李丽楠,刘震宇,周明园,等. 水稻化控技术研究与进展[J]. 江苏农业科学, 2020, 48(6): 12-16.
- [11] LI M Q, AHAMMED G J, LI C X, et al. Brassinosteroid ameliorates zinc oxide nanoparticles-induced oxidative stress by improving antioxidant potential and redox homeostasis in tomato seedling[J]. Frontiers in Plant Science, 2016, 7: 615.
- [12] 陈靓靓. 芸薹素内酯对水稻萌发和生长的影响研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2018.
- [13] 褚世海,李林,朱文达. 0.01% 芸薹素内酯水剂对水稻生长、产量和品质的影响[J]. 湖北农业科学, 2016, 55(24): 6445-6447.
- [14] 孙淑琴,杨秀荣,李月娇. 0.0075% 28-高芸薹素内酯可溶液剂在水稻上的应用效果研究[J]. 现代农业科技, 2021(13): 108-109, 114.
- [15] 严明,柏亚罗. 甲氧基丙烯酸酯类等四大类杀菌剂市场概况及前景展望[J]. 现代农药, 2016, 15(6): 1-9.
- [16] 杨丽娟,柏亚罗. 甲氧基丙烯酸酯类杀菌剂——吡唑醚菌酯[J]. 现代农药, 2012, 11(4): 46-50, 56.
- [17] 高雪冬. 氨基寡糖素与吡唑醚菌酯混配对水稻抗病增产效果研究[J]. 现代化农业, 2022(3): 19-20.
- [18] 沈登荣,何超,赵远艳,等. 增效剂与 3 种杀虫剂混配对石榴蓟马的毒力测定[J]. 中国南方果树, 2016, 45(2): 130-133.
- [19] 张国生,汪灿明,郑瑞琴. 浅谈农药增效剂现状及应用前景[J]. 浙江化工, 2000(4): 24-26.
- [20] 郑华斌,李波,王慰亲,等. 不同栽培模式对“早籼晚粳”双季稻光氮利用效率及产量的影响[J]. 中国农业科学, 2021, 54(7): 1565-1578.
- [21] 冯彩军,宋瑞娇,宋凌宇,等. 2,4-表芸薹素内酯浸种对干旱胁迫

- 迫下大麦种子萌发期淀粉代谢的影响[J].浙江农业学报, 2022,34(10):2112-2120.
- [22] YU J Q, HUANG L F, HU W H, et al. A role for brassinosteroids in the regulation of photosynthesis in *Cucumis sativus* [J]. *Journal of Experimental Botany*, 2004, 55(399):1135-1143.
- [23] ZHANG M C, ZHAI Z X, TIAN X L, et al.. Brassinolide alleviated the adverse effect of water deficits on photosynthesis and the antioxidant of soybean (*Glycine max* L.) [J]. *Plant Growth Regulation*, 2008, 56(3):257-264.
- [24] 孙陈铭, 蔡岩, 苗志伟. 新型绿色植物生长调节剂——芸苔素内酯的研究进展[J]. *化学教育(中英文)*, 2022, 43(6):1-8.
- [25] 朱诚, 傅亚萍, 孙宗修. 超高产水稻开花结实期间叶片衰老与活性氧代谢的关系[J]. *中国水稻科学*, 2002(4):33-37.
- [26] 黄影华, 张华杰, 陈秋玉, 等. 不同生育期水稻叶片 SPAD 值与产量相关性研究[J]. *仲恺农业工程学院学报*, 2021, 34(1):1-7.
- [27] 朱寒, 时元智, 洪大林, 等. 水肥调控对水稻叶片 SPAD 值与产量的影响[J]. *中国农村水利水电*, 2019(11):50-53, 65.
- [28] 翁晓燕, 陶月良. 表油菜素内酯对水稻产量和光合特性的影响[J]. *浙江农业大学学报*, 1995, 21(1):51-54.
- [29] 张玉乐. 叶面喷施油菜素内酯对水稻积温特性的影响[D]. 长沙:湖南农业大学, 2017.
- [30] 肖琳, 庞瑞华, 蔡荣先, 等. 水稻初花期喷施油菜素内酯的生理效应及增产作用[J]. *安徽农业科学*, 2007, 35(11):3317, 3330.
- [31] 冯桂梅, 刘世彬, 王振兰. 9%吡唑醚菌酯微囊悬浮剂防治水稻穗颈瘟及增产效果[J]. *农药*, 2016, 55(6):466-468.
- [32] 秦治勇, 李大庆, 白智江, 等. 100 g/L 吡唑醚菌酯微囊悬浮剂防治穗颈瘟的防治效果及对水稻产量的影响[J]. *农药科学与管理*, 2017, 38(8):58-62.
- [33] SONG Y W, MIAO Y C, SONG C P. Behind the scenes; the roles of reactive oxygen species in guard cells [J]. *New Phytologist*, 2014(4):1121-1140.
- [34] LI J, CHORY J. Brassinosteroid actions in plants [J]. *Journal of Experimental Botany*, 1999, 50(332):275-282.
- [35] 何宇炯, 徐如涓, 赵毓橘. 表油菜素内酯对油菜幼苗生长及其可溶性糖和蛋白质含量的影响[J]. *植物生理学报*, 1995, 31(1):37-39.

(责任编辑:陈海霞)