

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2024.02.004

卫航航, 张长伟, 钟耕, 等. 增香栽培对优质香稻品质和产量的影响 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2024, 46(2): 34-43.

# 增香栽培对优质香稻品质和产量的影响

卫航航<sup>1</sup>, 张长伟<sup>1</sup>, 钟耕<sup>2</sup>, 赵祎<sup>2</sup>, 易靖<sup>3</sup>,  
康山杰<sup>3</sup>, 曾卓华<sup>3</sup>, 罗雪峰<sup>3</sup>, 唐湘如<sup>4</sup>, 方立魁<sup>3</sup>

1. 西南大学 水稻研究所, 重庆 400715; 2. 西南大学 食品科学学院, 重庆 400715;  
3. 重庆市农业技术推广总站, 重庆 401120; 4. 华南农业大学 农学院, 广州 510642

**摘要:** 为了探明增香栽培对优质香稻品质和产量的影响, 以4个优质常规香稻、4个优质杂交香稻品种为试验材料, 以常规和增香两种栽培措施进行大田对比试验, 测定各优质香稻的脯氨酸质量分数、品质、理论产量及产量构成因素。结果表明: 与常规栽培相比, 供试香稻的脯氨酸质量分数和整精米率、杂交香稻的蛋白质质量分数与胶稠度显著提高, 杂交香稻的垩白度与垩白粒率以及供试香稻的直链淀粉质量分数显著降低; 供试香稻的淀粉黏滞性RVA谱特征值整体呈下降趋势, 下降程度不等, 其中杂交香稻的起浆温度显著上升, 而常规香稻的冷胶黏度、起浆温度以及峰值时间变化无统计学意义; 常规香稻的食味值显著下降, 而杂交香稻的食味值变化无统计学意义。除此之外, 增香栽培对理论产量及产量构成有不同影响, 其中杂交香稻的产量及有效穗数显著升高, 穗粒数和千粒质量变化无统计学意义。

**关键词:** 香稻; 增香栽培; 稻米品质; 产量

中图分类号: S511.4 文献标志码: A

文章编号: 1673-9868(2024)02-0034-10

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



## Effects of Aroma-enhancing Cultivation on Quality and Yield of High-quality Aromatic Rice

WEI Hanghang<sup>1</sup>, ZHANG Changwei<sup>1</sup>, ZHONG Geng<sup>2</sup>,  
ZHAO Yi<sup>2</sup>, YI Jing<sup>3</sup>, KANG Shanjie<sup>3</sup>, ZENG Zhuohua<sup>3</sup>,  
LUO Xuefeng<sup>3</sup>, TANG Xiangru<sup>4</sup>, FANG Likui<sup>3</sup>

1. Rice Research Institute, Southwest University, Chongqing 400715, China;  
2. College of Food Science, Southwest University, Chongqing 400715, China;  
3. Chongqing Agricultural Technology Popularization Station, Chongqing 401120, China;  
4. College of Agriculture, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China

收稿日期: 2023-06-21

基金项目: 重庆市农业产业技术体系“水稻创新团队”项目(CQMAITS202301).

作者简介: 卫航航, 硕士研究生, 主要从事作物栽培与耕作技术研究.

通信作者: 方立魁, 研究员.

**Abstract:** To investigate the effect of aroma-enhancing cultivation on the quality and yield of high-quality aromatic rice, four high-quality conventional fragrant rice varieties and four high-quality hybrid aromatic rice varieties were used as experimental materials to conduct comparative field experiments with conventional and aroma-enhancing cultivation methods in this study. Each high-quality aromatic rice was measured for proline content, grain quality, yield, and yield composition. Compared with conventional cultivation, the proline content and head-milled rate of aromatic rice, and the protein content and gel consistency of hybrid aromatic rice were significantly increased. The degree of chalkiness and the rate of chalkiness grain of hybrid aromatic rice and the amylose content of the aromatic rice decreased significantly. The RVA spectrum characteristics of starch viscosity of fragrant rice showed an overall decreasing trend with different degrees of decline. The pasting temperature of hybrid aromatic rice increased significantly, while cool paste viscosity, pasting temperature, and peak time of conventional aromatic rice showed no significant changes. There was a significant decrease in the flavor score of conventional aromatic rice, but no significant change in the flavor score of hybrid aromatic rice. In addition, aroma-enhancing cultivation had different effects on yield and yield composition. Among them, the yield and effective panicles of hybrid aromatic rice significantly increased, while the number of grains per panicle and thousand grain weight did not show significant changes.

**Key words:** aromatic rice; aroma-enhancing cultivation; rice quality; yield

我国每年水稻种植面积达 0.3 亿  $\text{hm}^2$ , 60% 以上人口以稻米为主食, 发展水稻生产对保障我国粮食安全具有重要意义<sup>[1-2]</sup>. 随着生活水平的不断提高和我国市场经济的持续推进, 人们对稻米的要求已从“吃饱”向“吃好”转变, 优质米特别是优质香米越来越受消费者喜爱和稻米市场青睐<sup>[3]</sup>, 因此保证产量的同时提高香稻品质来满足当今市场的需求已成为当下稻米生产的一大趋势<sup>[4-5]</sup>. 香稻的品质和产量除受遗传因素控制外, 还受到栽培环境、耕作措施以及施肥方法的影响<sup>[6-8]</sup>. 施含锌基肥<sup>[9]</sup>和含镧基肥<sup>[10]</sup>都能够改善稻米的外观品质并且增加产量, 齐穗期叶面喷施增香剂能够显著提高香稻的脯氨酸质量分数, 增加稻米香气<sup>[11]</sup>; 钾肥能够提高香稻糙米香气含量, 并能一定程度改善香稻品质<sup>[12]</sup>. 增香栽培将上述的单项栽培措施集成一体, 能够显著提高香稻糙米的香气和籽粒产量<sup>[13]</sup>. 增香栽培对水稻产量、香气以及外观品质的影响研究较多, 但其对多个稻米品质性状的影响还鲜见报道. 本研究设置常规栽培和增香栽培 2 种处理模式, 以 4 个优质常规香稻和 4 个优质杂交香稻为试验材料, 旨在探明增香栽培对香稻产量和多个品质性状的影响, 为香稻的高产优质栽培提供理论依据.

## 1 材料与方法

### 1.1 试验田概况

本试验安排在重庆市开州区大德镇福佳村周运全承包田 ( $31^{\circ}13'41.5''\text{N}$ ,  $108^{\circ}19'37.6''\text{E}$ , 海拔 636 m) 内, 水稻土, 肥力中等, 地块平整, 排灌方便, 冬闲田. 土壤 pH 值为 7.8, 有机质 25.1 g/kg, 全氮 113 g/kg, 有效磷 18.5 mg/kg, 速效钾 150 mg/kg.

### 1.2 试验设计

#### 1.2.1 供试品种

供试 8 个优质香稻品种如表 1, 其中十九香、南晶香占、美香占 2 号、珍香优 11 香、又香优龙丝苗、又香优雅丝香和神农优 228 等 7 个香稻品种已通过国家或省级品种审定(泰国小香米系从泰国引进, 未审定).

表 1 供试品种的类型、审定状态以及品种特性

品种名称	香稻类型	审定状态	品种特性
十九香	籼型常规香稻	2020 年粤审稻	产量高、抗倒伏能力强
南晶香占	籼型常规香稻	2021 年国审稻	米质优、适口性好
美香占 2 号	籼型常规香稻	2006 年粤审稻	分蘖能力强、米质优
泰国小香米	籼型常规香稻	未审定	分蘖能力强、米质优
珍香优 11 香	籼型杂交香稻	2020 年桂审稻	米质优、适口性好、产量高
又香优龙丝苗	籼型杂交香稻	2021 年国审稻	米质优、产量高
又香优龙丝香	籼型杂交香稻	2020 年桂审稻 2022 年湘审稻	米质优、适口性好、产量高
神农优 228	籼型杂交香稻	2018 年国审稻	米质优、适口性好、产量高

### 1.2.2 供试肥料

富特鑫香水稻肥(含 N 15%, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 4%, K<sub>2</sub>O 6%, 有机肥 10%, ZnSO<sub>4</sub> 2% 和 LaCl<sub>3</sub> 0.1%), 富特生态增香富硒肥(含脯氨酸、赤霉素和锌元素), 洋丰复合肥(18-12-10), 尿素, KCl.

### 1.2.3 试验处理

增香栽培模式(IAC): 施富特鑫香水稻肥 1 050 kg/hm<sup>2</sup>, 基肥比例 8:2; 齐穗期喷施富特生态增香富硒肥 3 kg/hm<sup>2</sup>, 稀释 500 倍. 常规栽培模式(CK): 基肥施洋丰复合肥 450 kg/hm<sup>2</sup>, 分蘖期追施尿素 75 kg/hm<sup>2</sup>, 拔节期追施尿素 75 kg/hm<sup>2</sup>, KCl 90 kg/hm<sup>2</sup>. 试验采取裂区设计, 栽培模式为主区(增香栽培、常规栽培), 不同水稻品种为副区. 其他栽培管理措施与当地水稻直播栽培生产一致.

### 1.2.4 数据处理

利用 Excel 2019 对试验数据进行整理, 利用统计软件 SPSS 22.0 进行单因素 ANOVA 方差分析.

## 1.3 测定项目

### 1.3.1 糙米香气测定

稻谷收获后每个小区的每个品种取 40 g, 3 次重复, 晒干放置 3 个月 after 使用气相色谱分析仪进行糙米脯氨酸质量分数的测定, 具体方法参照唐湘如等<sup>[14]</sup>的方法.

### 1.3.2 稻米品质测定

稻谷收获后每个小区每个品种取 0.5 kg, 3 次重复, 晒干放置 3 个月后进行品质测定. 每个重复取 40 g 糙米由稻谷经砻谷机脱壳后测定其精米率. 每个重复取 30 粒精米通过垩白观察仪计算垩白粒率和垩白度. 每个重复取 0.1 g 米粉由近红外谷物分析仪测定蛋白质质量分数和直链淀粉质量分数. 每个重复取 1 g 米粉按中华人民共和国国家标准《优质稻谷(GB1350-1999)》的方法进行胶稠度测定.

### 1.3.3 稻米淀粉黏滞性测定

每个重复取 3 g 米粉, 采用澳大利亚 Newport Scientific 仪器公司生产的 3-D 型黏度速测仪 RVA 测定, 具体参照隋炯明等<sup>[15]</sup>的方法. RVA 谱特征值主要测定其最高黏度、热浆黏度、冷胶黏度、崩解值(最高黏度-热浆黏度)、消减值(冷胶黏度-最高黏度), 各项指标的单位用 cP 表示; 同时记录起浆温度(指黏度开始增加时的温度, 是熟化给定试样所需要的最低温度, 单位为℃), 峰值时间(指最高黏度出现所需的时间, 单位为 min).

每个重复取去除杂质和碎米的精米 250 g 进行蒸煮, 利用米饭食味计检测米饭食味值, 稻米感官食味值由感官品尝小组进行评分, 具体参照隋炯明等<sup>[15]</sup>的方法.

### 1.3.4 产量性状的测定

收获时采用 5 点取样法, 按 1 m<sup>2</sup> 收割产量, 3 次重复, 并换算成实际产量. 每小区每个品种测定 100 丛有效穗数, 另随机取 5 丛有效穗数, 测定每穗总粒数、结实率和千粒质量.

## 2 结果与分析

### 2.1 增香栽培对香稻糙米香气的影响

由表 2 可知, 栽培模式对常规香稻 ( $p < 0.05$ ) 和杂交香稻 ( $p < 0.01$ ) 的脯氨酸质量分数影响有统计学意义. 与常规栽培 (CK) 相比, 增香栽培 (IAC) 下常规香稻南晶香占和杂交香稻珍香优 11 香、又香优龙丝苗以及又香优龙丝香的糙米脯氨酸质量分数极显著提高 ( $p < 0.01$ ), 常规香稻十九香、泰国小香米和杂交香稻神农优 228 的糙米脯氨酸质量分数显著提高 ( $p < 0.05$ ), 仅美香占 2 号差异无统计学意义. 结果表明增香栽培有利于提高香稻品种糙米的脯氨酸质量分数, 从而可能提升稻米香气.

表 2 增香栽培对香稻品质的影响

香稻类型	品种名称	栽培模式	脯氨酸质量分数/ ( $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ )	垩白度/ %	垩白粒率/ %	整精米率/ %
常规香稻	十九香	CK	24.84	6.45	15.00	48.85
		IAC	32.08*	5.55	12.90	60.05**
	南晶香占	CK	22.32	1.35	2.35	46.26
		IAC	26.24**	0.54*	0.70	53.36**
	美香占 2 号	CK	24.43	0.80	0.98	49.26
		IAC	24.96	4.75	14.00**	53.51*
	泰国小香米	CK	27.25	5.63	11.50	38.70
		IAC	32.18*	0.57*	0.90**	52.48**
	D		*	ns	ns	**
	杂交香稻	珍香优 11 香	CK	22.29	3.20	11.30
IAC			40.77**	5.71	2.10**	58.24*
又香优龙丝苗		CK	22.23	11.22	4.50	55.84
		IAC	29.61**	7.20	7.50	53.50
又香优龙丝香		CK	43.13	4.34	1.25	48.97
		IAC	64.69**	0.65**	1.25	60.96**
神农优 228		CK	30.06	8.78	4.87	63.71
		IAC	36.25*	1.95*	2.45	59.11
D			**	*	*	*

注: IAC 代表增香栽培, CK 代表常规栽培(对照), D 代表不同栽培模式; \* 表示  $p < 0.05$ , \*\* 表示  $p < 0.01$ , 差异有统计学意义, ns 表示  $p > 0.05$ , 差异无统计学意义.

### 2.2 增香栽培对香稻外观品质的影响

栽培模式对常规香稻的垩白度和垩白粒率影响无统计学意义 ( $p > 0.05$ ), 但部分品种增香栽培影响(表 2)差异有统计学意义. 与常规栽培相比, 增香栽培下泰国小香米的籽粒垩白度 ( $p < 0.05$ ) 和垩白粒率 ( $p < 0.01$ ) 分别显著和极显著下降, 南晶香占的籽粒垩白度显著下降 ( $p < 0.05$ ), 美香占 2 号的垩白粒率极显著上升 ( $p < 0.01$ ). 两种栽培模式对杂交香稻的垩白度和垩白粒率影响有统计学意义 ( $p < 0.05$ ). 与常规栽培相比, 增香栽培下又香优龙丝香 ( $p < 0.01$ )、神农优 228 ( $p < 0.05$ ) 的籽粒垩白度分别极显著、显著降低, 珍香优 11 香的籽粒垩白粒率极显著降低 ( $p < 0.01$ ). 结果显示, 增香栽培在籽粒重要外观品质上对供试杂交香稻的影响显著大于对供试常规香稻的影响, 但杂交香稻和常规香稻均因品种不同, 增香栽培的

改善效果也不同,如增香栽培可显著改善泰国小香米、珍香优 11 香的外观品质,显著影响美香占 2 号的外观品质。

### 2.3 增香栽培对香稻加工品质的影响

栽培模式对常规香稻( $p < 0.01$ )和杂交香稻( $p < 0.05$ )的整精米率影响有统计学意义(表 2)。与常规栽培相比,增香栽培下十九香( $p < 0.01$ )、南晶香占( $p < 0.01$ )、泰国小香米( $p < 0.01$ )、美香占 2 号( $p < 0.05$ )、又香优龙丝香( $p < 0.01$ )和珍香优 11 香( $p < 0.05$ )等 6 个品种的整精米率均分别极显著或显著提高,而其余 2 个品种整精米率差异无统计学意义,表明增香栽培有利于提高稻米的加工品质。

### 2.4 增香栽培对香稻理化品质的影响

栽培模式对常规香稻的蛋白质质量分数、直链淀粉质量分数和杂交香稻的蛋白质质量分数、直链淀粉质量分数以及胶稠度影响有统计学意义( $p < 0.01$ )(表 3)。与常规栽培相比,增香栽培下常规香稻十九香、南晶香占和泰国小香米极显著提升了稻米的蛋白质质量分数( $p < 0.01$ ),而杂交香稻均极显著提升了稻米的蛋白质质量分数( $p < 0.01$ );常规香稻十九香、南晶香占以及美香占 2 号和杂交香稻又香优龙丝苗、又香优龙丝香极显著降低了稻米的直链淀粉质量分数( $p < 0.01$ ),而杂交香稻神农优 228 极显著提升了稻米的直链淀粉质量分数( $p < 0.01$ );杂交香稻珍香优 11 香( $p < 0.01$ )、又香优龙丝苗( $p < 0.05$ )、神农优 228( $p < 0.01$ )和常规香稻美香占 2 号( $p < 0.05$ )极显著或显著提升了稻米的胶稠度。从总体趋势来看,增香栽培模式下蛋白质质量分数和胶稠度呈现上升趋势,常规香稻的直链淀粉质量分数呈现下降趋势,杂交香稻的直链淀粉质量分数升降因品种而异。

表 3 增香栽培对香稻蛋白质、直链淀粉质量分数以及胶稠度的影响

香稻类型	品种名称	栽培模式	蛋白质 质量分数/%	直链淀粉 质量分数/%	胶稠度/ mm	
常规香稻	十九香	CK	7.51	21.63	79.00	
		IAC	7.73**	19.91**	82.00	
	南晶香占	CK	5.31	20.29	84.50	
		IAC	8.13**	19.31**	71.50	
	美香占 2 号	CK	7.90	19.52	161.50	
		IAC	7.86	18.42**	205.50*	
	泰国小香米	CK	8.30	19.69	128.50	
		IAC	8.68**	19.78	100.50	
	D		**	**	ns	
	杂交香稻	珍香优 11 香	CK	7.28	19.59	129.50
			IAC	8.06**	19.87*	160.50**
		又香优龙丝苗	CK	7.25	21.23	138.00
IAC			8.21**	19.56**	191.00*	
又香优龙丝香		CK	7.47	25.85	80.50	
		IAC	7.88**	19.37**	99.50	
神农优 228		CK	7.44	18.52	89.00	
		IAC	8.65**	19.60**	158.50**	
D			**	**	**	

注: IAC 代表增香栽培, CK 代表常规栽培(对照), D 代表不同栽培模式; \* 表示  $p < 0.05$ , \*\* 表示  $p < 0.01$ , 差异有统计学意义, ns 表示  $p > 0.05$ , 差异无统计学意义。

## 2.5 增香栽培对 RVA 谱特征值与食味值的影响

栽培模式对供试香稻的最高黏度、热浆黏度、崩解值和消减值存在显著或极显著影响(表 4)。与常规栽培相比, 增香栽培下常规香稻十九香( $p < 0.01$ )、泰国小香米( $p < 0.01$ )、南晶香占( $p < 0.05$ )以及杂交香稻所有品种( $p < 0.01$ )的最高黏度显著下降, 而美香占 2 号则极显著升高( $p < 0.01$ ); 常规香稻美香占 2 号、泰国小香米和杂交香稻珍香优 11 香、又香优龙丝香以及神农优 228 的热浆黏度极显著降低( $p < 0.01$ ), 而常规香稻十九香和杂交香稻又香优龙丝苗的热浆黏度显著升高( $p < 0.05$ ); 常规香稻美香占 2 号和杂交香稻珍香优 11 香的崩解值极显著增加( $p < 0.01$ ), 其余供试品种的崩解值均显著降低; 常规香稻十九香和泰国小香米的消减值极显著增加( $p < 0.01$ ), 常规香稻美香占 2 号( $p < 0.01$ )、南晶香占( $p < 0.05$ )的消减值极显著和显著降低, 杂交香稻珍香优 11 香、又香优龙丝香和神农优 228 的消减值极显著降低( $p < 0.01$ )。

另外, 栽培模式对杂交香稻米的冷胶黏度( $p < 0.01$ )和起浆温度( $p < 0.05$ )存在极显著和显著影响, 而对常规香稻的影响无统计学意义( $p > 0.05$ ), 但个别品种在栽培模式间差异有统计学意义。与常规栽培相比, 增香栽培下常规香稻十九香稻米的冷胶黏度显著增加( $p < 0.05$ ), 常规香稻美香占 2 号稻米的起浆温度显著降低( $p < 0.05$ ); 杂交香稻珍香优 11 香、又香优龙丝香和神农优 228 稻米的冷胶黏度极显著降低( $p < 0.01$ ), 又香优龙丝苗、又香优龙丝香和神农优 228 的起浆温度均显著增加( $p < 0.05$ )。

栽培模式对常规香稻和杂交香稻的峰值时间影响无统计学意义( $p > 0.05$ ), 并不因品种的不同而存在明显差异。

表 4 增香栽培对香稻 RVA 谱特征值与食味值的影响

香稻类型	品种名称	栽培模式	最高黏度/cP	热浆黏度/cP	崩解值/cP	冷胶黏度/cP	消减值/cP	峰值时间/min	起浆温度/°C	食味值
常规香稻	十九香	CK	2 668	1 528	1 134	2 474	950	5.14	83.7	82.8
		IAC	2 437**	1 560*	873**	2 548*	980**	5.08	84.7	80.1
	南晶香占	CK	2 929	1 434	1 490	2 279	850	5.13	82.9	86.1
		IAC	2 906*	1 434	1 475*	2 224	799*	5.08	80.7	82.0*
	美香占 2 号	CK	1 925	1 925	557	2 232	850	5.18	86.8	85.6
		IAC	2 919**	1 436**	1 486**	2 215	771**	5.15	79.8*	81.4*
	泰国小香米	CK	2 583	1 428	1 153	2 225	800	5.15	82.9	86.5
		IAC	1 762**	1 372**	391**	2 237	863**	5.14	86.9	81.6*
	D		*	**	**	ns	*	ns	ns	*
	杂交香稻	珍香优 11 香	CK	2 046	1 579	455	2 564	990	5.14	86.0
IAC			1 975**	1 428**	547**	2 294**	874**	5.19	85.0	82.3*
又香优龙丝苗		CK	2 064	1 328	734	2 177	856	5.15	84.2	77.8
		IAC	2 026**	1 344*	686**	2 188	841	5.22	86.0*	80.4*
又香优龙丝香		CK	2 924	1 653	1 266	2 615	944	5.23	83.8	80.0
		IAC	2 518**	1 461**	1 056**	2 328**	870**	5.25	85.1*	79.5
神农优 228		CK	2 532	1 501	1 033	2 428	930	5.08	82.8	81.8
		IAC	1 494**	1 225**	267**	2 011**	776**	5.13	86.4*	82.3
D			**	**	**	**	**	ns	*	ns

注: IAC 代表增香栽培, CK 代表常规栽培(对照), D 代表不同栽培模式; \* 表示  $p < 0.05$ , \*\* 表示  $p < 0.01$ , 差异有统计学意义, ns 表示  $p > 0.05$ , 差异无统计学意义。

从表 4 还可看出,与常规栽培相比,增香栽培下常规香稻的食味值呈现下降趋势,除十九香差异无统计学意义外,其余 3 个供试常规香稻的食味值均显著下降( $p < 0.05$ );而杂交香稻在增香栽培下食味值多呈上升趋势,珍香优 11 香、又香优龙丝苗的食味值显著增加( $p < 0.05$ ),仅又香优龙丝香食味值略有下降.结果表明,在增香栽培模式下杂交香稻的食味值一般变优,常规香稻的食味值一般变劣.

## 2.6 增香栽培对理论产量及产量构成因素的影响

栽培模式对杂交香稻的理论产量有显著影响( $p < 0.05$ ),而对常规香稻影响无统计学意义( $p > 0.05$ ),但因品种不同,增香栽培的影响效果也不一致(表 5).与常规栽培相比,增香栽培下常规香稻十九香( $p < 0.05$ )、美香占 2 号( $p < 0.05$ )和杂交香稻神农优 228( $p < 0.01$ )显著或极显著提高了理论产量,其余 5 个品种在增香栽培和常规栽培模式下的理论产量差异无统计学意义,表明增香栽培较常规栽培对产量的影响多数无统计学意义,仅少数品种有显著或极显著增加趋势.

表 5 增香栽培对理论产量及产量构成因素的影响

香稻类型	品种名称	栽培模式	有效穗数/ 万穗	穗着粒数	结实率/ %	千粒质量/ g	理论产量/ (kg · hm <sup>-2</sup> )	
常规香稻	十九香	CK	15.00	120.9	90.3	24.8	6 093.3	
		IAC	17.16**	126.2	83.0*	24.3	6 548.9*	
	南晶香占	CK	19.68	107.8	90.7	22.9	6 611.4	
		IAC	19.20**	107.8	90.5	22.6	6 352.7	
	美香占 2 号	CK	20.40	73.0	90.5	23.6	4 773.5	
		IAC	18.60**	91.5**	84.2*	24.0	5 156.0*	
	泰国小香米	CK	23.64	75.6	81.3	23.6	5 146.7	
		IAC	24.72**	67.2*	82.0	23.8	4 862.6	
	D		*	*	ns	ns	ns	
	杂交香稻	珍香优 11 香	CK	16.32	155.4	93.2	23.5	8 335.8
			IAC	17.64**	150.0	88.1*	23.7	8 284.1
		又香优龙丝苗	CK	15.00	169.7	92.8	24.5	8 682.2
IAC			16.44**	160.6*	87.8*	24.2	8 414.6	
又香优龙丝香		CK	14.76	170.7	86.9	23.5	7 721.1	
		IAC	14.52**	172.4	88.9	23.7	7 913.1	
神农优 228		CK	12.12	174.5	90.6	25.3	7 271.9	
		IAC	16.80**	163.8*	87.8*	25.3	9 168.2**	
D			*	ns	*	ns	*	

注: IAC 代表增香栽培, CK 代表常规栽培(对照), D 代表不同栽培模式; \* 表示  $p < 0.05$ , \*\* 表示  $p < 0.01$ , 差异有统计学意义, ns 表示  $p > 0.05$ , 差异无统计学意义.

比较各香稻的产量构成因素可知,栽培模式对常规香稻和杂交香稻的有效穗数均有显著影响.与常规栽培相比,增香栽培下常规香稻十九香、泰国小香米和杂交香稻珍香优 11 香、又香优龙丝苗、神农优 228 的有效穗数均极显著增加( $p < 0.01$ ),而常规香稻南晶香占、美香占 2 号和杂交香稻又香优龙丝香的有效穗数均极显著降低( $p < 0.01$ ),说明增香栽培对香稻的有效穗数影响趋势不明,具体看香稻品种对增香栽培措施的特殊响应.

栽培模式对常规香稻的穗着粒数有显著影响( $p < 0.05$ ), 而对杂交香稻的影响无统计学意义( $p > 0.05$ ), 但部分品种影响也有统计学意义. 与常规栽培相比, 增香栽培下常规香稻美香占 2 号的穗着粒数极显著增加( $p < 0.01$ ), 常规香稻泰国小香米和杂交香稻又香优龙丝苗、神农优 228 的穗着粒数显著降低( $p < 0.05$ ), 其余 4 个香稻品种的穗着粒数增减差异无统计学意义, 说明增香栽培对香稻穗着粒数的影响多偏降低趋势.

栽培模式对杂交香稻的结实率有显著影响( $p < 0.05$ ), 而对常规香稻影响无统计学意义( $p > 0.05$ ), 但部分品种影响也有统计学意义. 与常规栽培相比, 增香栽培下常规香稻十九香、美香占 2 号和杂交香稻珍珠香优 11 香、又香优龙丝苗、神农优 228 的结实率均显著下降( $p < 0.05$ ), 其余 3 个香稻品种的结实率增减差异无统计学意义, 说明增香栽培对香稻结实率的影响主要为显著降低趋势.

栽培模式对常规香稻和杂交香稻的千粒质量影响无统计学意义, 并不因品种的不同而存在明显差异.

## 3 讨论

### 3.1 增香栽培可提升香稻的糙米香气

香稻的香气受多方面因素影响, 并与多种化合物有着密切的联系. 有研究表明香稻香气最为重要的化合物为 2-乙酰-1-吡咯啉(2-acetyl-1-pyrroline, 简称 2-AP)<sup>[16]</sup>, 之后的很多研究也都表明, 香稻香气的最主要成分就是 2-AP<sup>[17-18]</sup>, 并且通过示踪试验证明 2-AP 的氮来自脯氨酸<sup>[19]</sup>. 以往的单项栽培技术措施如基肥施锌肥<sup>[9]</sup>、基肥施硼肥<sup>[10]</sup>以及齐穗期在叶面喷施香稻增香剂<sup>[11]</sup>均能显著增加香稻的香气水平. 黄忠林等<sup>[13]</sup>研究表明将这些单项技术集成的增香栽培模式能显著提高香稻的脯氨酸质量分数和叶片脯氨酸的氧化酶活性, 有利于香稻 2-AP 的形成与积累, 且可转运至籽粒. 本研究也表明增香栽培能够显著提高供试香稻的脯氨酸质量分数, 提升糙米香气.

### 3.2 增香栽培对香稻品质形成的影响

稻米品质主要是由品种本身的遗传特性和环境因子共同作用, 其品质包括外观品质、加工品质和理化品质. 本研究主要包括外观品质的垩白度和垩白粒率, 加工品质的整精米率, 理化品质的蛋白质质量分数、直链淀粉质量分数以及胶稠度. 董明辉等<sup>[20]</sup>研究表明, 不同栽培方式对稻米的品质有较大影响; 陈国军等<sup>[6]</sup>对增香栽培技术进行研究, 证明香稻在增香栽培技术下具有较高的整精米率及蛋白质质量分数, 能够显著降低稻米的垩白度和垩白粒率. 本研究结果表明, 增香栽培能够显著降低杂交香稻的垩白度和垩白粒率, 提升供试香稻品种的整精米率, 极显著提高杂交香稻的蛋白质质量分数和胶稠度, 同时降低供试香稻品种的直链淀粉质量分数. 从总体趋势来看, 增香栽培能够显著提升杂交香稻的外观和营养品质.

### 3.3 增香栽培对香稻 RVA 谱特征值与食味值的影响

香稻中富含蛋白质、各种氨基酸等营养成分, 这些成分也会对香稻的食味值产生影响, 所以仅仅通过直链淀粉质量分数和胶稠度难以直观地反映出这种影响. 胡中娥等<sup>[21]</sup>、舒庆尧等<sup>[22]</sup>和闫影等<sup>[23]</sup>研究表明, RVA 谱特征值能够很好地反映稻米的蒸煮食味品质, 属于综合指标和直接指标. 本研究结果表明, 最高黏度、热浆黏度、崩解值、冷胶黏度、消减值呈下降趋势, 其中仅常规香稻的冷胶黏度差异无统计学意义; 在起浆温度上, 常规香稻差异无统计学意义, 而杂交香稻差异有统计学意义, 且呈上升趋势.

隋炯明等<sup>[15]</sup>认为除最高黏度外, RVA 谱的其余特征值与食味品质主要指标都极显著相关. 胡培松等<sup>[24]</sup>研究表明, 食味值与单个 RVA 谱特征值相关程度较低, 但是与崩解值相关程度较大. 闫影等<sup>[23]</sup>则认为, 影响米饭食味值的主要理化指标是直链淀粉质量分数和胶稠度, 且直链淀粉质量分数越低, 胶稠度越

高,米饭食味值越高。在本研究中,增香栽培能够极显著降低大部分供试品种的直链淀粉质量分数,极显著提高杂交香稻的胶稠度。在增香栽培模式下,常规香稻的食味值显著降低,而杂交香稻的食味值呈现上升趋势,但差异无统计学意义。

### 3.4 增香栽培对产量性状的影响

徐明岗等<sup>[25]</sup>研究表明,化肥与有机肥配施有利于水稻高产和水稻中后期的干物质积累和养分吸收,提高单位面积的总穗数和穗粒数。在叶面喷施锌肥能够提高水稻的结实率、千粒质量以及产量<sup>[26]</sup>。黄忠林等<sup>[13]</sup>研究表明,增香栽培技术能够提高香稻群体的光合能力并且减缓功能叶的衰老,有利于生育后期干物质的积累,从而增加有效穗数、群体颖花数和结实率,最终表现为产量的增加。丛建红<sup>[27]</sup>研究表明,富硒肥能够有效提高水稻的产量,并且以叶面喷施效果最为显著。本研究采用的增香栽培措施是施用香稻专用肥和喷施叶面增香剂,香稻专用肥富特鑫香水稻肥与有机肥混配比例为 N 15%, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 4%, K<sub>2</sub>O 6%, 有机肥 10%, ZnSO<sub>4</sub> 2% 和 LaCl<sub>3</sub> 0.1%, 叶面增香剂富特生态增香富硒肥含有脯氨酸、赤霉素和锌元素。研究表明增香栽培较常规栽培的理论产量呈差异无统计学意义(常规香稻)至显著增加(杂交香稻)趋势。各产量构成因素中,增香栽培对香稻的有效穗数影响最大,但趋势不明,具体看各香稻品种对增香栽培措施的特殊响应;其次是增香栽培对香稻穗着粒数的影响多偏降低趋势,对香稻结实率的影响主要为显著降低趋势;增香栽培对香稻千粒质量影响无统计学意义。增香栽培可通过显著提高香稻品种的有效穗数,并均衡协调其余产量因素而获得高产。

## 4 结论

增香栽培能够显著提高供试品种香稻籽粒的脯氨酸质量分数和整精米率,显著提升香稻糙米的香气和加工品质;显著降低杂交香稻的垩白度与垩白粒率,改善杂交香稻的外观品质;极显著提高杂交香稻的蛋白质质量分数和胶稠度,显著降低供试品种的直链淀粉质量分数;常规香稻的食味值显著下降,但杂交香稻的食味值差异无统计学意义;同时增香栽培可通过显著增加香稻的有效穗数获得高产,而穗着粒数降低不明显,千粒质量影响无统计学意义。

### 参考文献:

- [1] 梁玉刚,李静怡,周晶,等. 中国水稻栽培技术的演变与展望 [J]. 作物研究, 2022, 36(2): 180-188.
- [2] 黄欣乐,郑百龙. 产量及面积视角的中国水稻生产变动 [J]. 江苏农业科学, 2020, 48(2): 311-316.
- [3] 游晴如,黄庭旭. 稻米香味的研究与育种利用 [J]. 福建稻麦科技, 2002, 20(3): 30-33.
- [4] 刁敏,季雅岚,吴文革,等. 水稻食味品质形成影响因素研究与展望 [J]. 中国农学通报, 2020, 36(12): 159-164.
- [5] ZHOU H, XIA D, HE Y Q. Rice Grain Quality—Traditional Traits for High Quality Rice and Health-plus Substances [J]. Molecular Breeding, 2020, 40(1): 1-17.
- [6] 陈国军,雷舜,唐湘如,等. 新型栽培技术对水稻产量及稻米品质的影响 [J]. 中国稻米, 2016, 22(6): 66-70.
- [7] 张岚,秦川,谢德体,等. 垄作免耕对紫色水稻土肥力演变的影响 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2023, 45(7): 138-146.
- [8] 王俊杰,陈伟雄,陈雪瑜,等. 广丰香 8 号的品种特性及增香栽培技术 [J]. 中国稻米, 2022, 28(2): 91-93.
- [9] 黄锦霞,肖迪,唐湘如. 施锌对香稻产量、香气和品质的影响 [J]. 耕作与栽培, 2010, 30(3): 5-7.
- [10] 肖迪,黄锦霞,唐湘如. 铜肥对水稻香气和产量品质的影响 [J]. 嘉应学院学报, 2010, 28(5): 67-70.
- [11] 段美洋,黎国喜,田华,等. 增香剂对香稻香气和生理特性的影响 [J]. 华南农业大学学报, 2009, 30(3): 1-3.
- [12] 罗一鸣,肖立中,潘圣刚,等. 钾肥对香稻香气及稻米品质的影响 [J]. 西南农业学报, 2014, 27(3): 1147-1153.
- [13] 黄忠林,唐湘如,王玉良,等. 增香栽培对香稻香气和产量的影响及其相关生理机制 [J]. 中国农业科学, 2012,

45(6): 1054-1065.

- [14] 唐湘如, 吴密. 施用锌、铁、镧肥对香稻糙米香气和剑叶脯氨酸含量的影响 [J]. 杂交水稻, 2006, 21(6): 69-72.
- [15] 隋炯明, 李欣, 严松, 等. 稻米淀粉 RVA 谱特征与品质性状相关性研究 [J]. 中国农业科学, 2005, 38(4): 657-663.
- [16] BUTTERY R G, LING L C, JULIANO B O, et al. Cooked Rice Aroma and 2-acetyl-1-pyrroline [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1983, 31(4): 823-826.
- [17] CORDEIRO G M, CHRISTOPHER M J, HENRY R J, et al. Identification of Microsatellite Markers for Fragrance in Rice by Analysis of the Rice Genome Sequence [J]. Molecular Breeding, 2002, 9(4): 245-250.
- [18] WONGPORNCHAI S. Effects of Drying Methods and Storage Time on the Aroma and Milling Quality of Rice [J]. Food Chemistry, 2004, 87(3): 407-414.
- [19] YOSHIHASHI T, HUONG N T T, INATOMI H. Precursors of 2-Acetyl-1-pyrroline, a Potent Flavor Compound of an Aromatic Rice Variety [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2002, 50(7): 2001-2004.
- [20] 董明辉, 唐成. 不同栽培环境对稻米品质的影响 [J]. 耕作与栽培, 2005, 25(3): 20-22.
- [21] 胡中娥, 李健, 李吉, 等. 不同籼稻品种杂交一代 RVA 谱特征值与食味品质相关性研究 [J]. 中国粮油学报, 2022, 37(8): 44-48.
- [22] 舒庆尧, 吴殿星, 夏英武, 等. 稻米淀粉 RVA 谱特征与食用品质的关系 [J]. 中国农业科学, 1998, 31(3): 99-102.
- [23] 闫影, 张丽霞, 万常照, 等. 稻米淀粉 RVA 谱特征值及理化指标与食味值的相关性 [J]. 植物生理学报, 2016, 52(12): 1884-1890.
- [24] 胡培松, 翟虎渠, 唐绍清, 等. 利用 RVA 快速鉴定稻米蒸煮及食味品质的研究 [J]. 作物学报, 2004, 30(6): 519-524.
- [25] 徐明岗, 李冬初, 李菊梅, 等. 化肥有机肥配施对水稻养分吸收和产量的影响 [J]. 中国农业科学, 2008, 41(10): 3133-3139.
- [26] 付力成, 王人民, 孟杰, 等. 叶面锌、铁配施对水稻产量、品质及锌铁分布的影响及其品种差异 [J]. 中国农业科学, 2010, 43(24): 5009-5018.
- [27] 丛建红. 富硒肥对水稻产量及品质的影响 [J]. 现代农业科技, 2011, 40(16): 267.

责任编辑 周仁惠