

郭桂英, 钟思志, 王青林, 等. 香稻研究进展及市场化开发应用现状[J]. 江苏农业学报, 2025, 41(2): 381-392.

doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2025.02.019

## 香稻研究进展及市场化开发应用现状

郭桂英<sup>1</sup>, 钟思志<sup>1</sup>, 王青林<sup>1</sup>, 沈光辉<sup>1</sup>, 霍二伟<sup>1</sup>, 马汉云<sup>1</sup>, 申关望<sup>1</sup>, 余新春<sup>1</sup>,  
徐士库<sup>1</sup>, 彭波<sup>2</sup>, 黄雅琴<sup>3</sup>, 李堂慧<sup>4</sup>, 易宏岩<sup>1</sup>, 王进<sup>1</sup>, 高成<sup>1</sup>, 陈庆明<sup>1</sup>,  
陈宏<sup>1</sup>, 扶定<sup>1</sup>, 祁玉良<sup>1</sup>

(1.信阳市农业科学院, 河南 信阳 464000; 2.信阳师范大学生命科学学院, 河南 信阳 464000; 3.信阳农林学院药学院, 河南 信阳 464000; 4.信阳金誉农业科技有限公司, 河南 信阳 464000)

**摘要:** 本文从6个方面(香稻的概念、类型和分布; 香米的营养价值和药用价值; 香稻香味的化学成分、香味物质形成和代谢调控机制; 香稻香味的遗传和遗传育种研究进展; 香稻香味的检测方法; 香稻的市场化开发应用建议等)阐述了香稻的相关研究进展, 以期为提升香稻稻米品质和营养价值、增加农民收入、促进农业发展、推动香稻产业化高质量发展奠定理论基础。

**关键词:** 香稻; 香米价值; 香味物质调控; 香稻遗传育种; 香味检测方法; 香稻开发应用

**中图分类号:** S511 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2025)02-0381-12

## Research progress and current status of market-oriented development and application of fragrant rice

GUO Guiying<sup>1</sup>, ZHONG Sizhi<sup>1</sup>, WANG Qinglin<sup>1</sup>, SHEN Guanghui<sup>1</sup>, HUO Erwei<sup>1</sup>, MA Hanyun<sup>1</sup>,  
SHEN Guanwang<sup>1</sup>, YU Xinchun<sup>1</sup>, XU Shiku<sup>1</sup>, PENG Bo<sup>2</sup>, HUANG Yaqin<sup>3</sup>, LI Tanghui<sup>4</sup>,  
YI Hongyan<sup>1</sup>, WANG Jin<sup>1</sup>, GAO Cheng<sup>1</sup>, CHEN Qingming<sup>1</sup>, CHEN Hong<sup>1</sup>, FU Ding<sup>1</sup>, QI Yuliang<sup>1</sup>

(1.Xinyang Academy of Agricultural Sciences, Xinyang 464000, China; 2.College of Life Sciences, Xinyang Normal University, Xinyang 464000, China; 3.School of Pharmacy, Xinyang Agricultural and Forestry University, Xinyang 464000, China; 4.Xinyang Jinyu Agricultural Technology Co., Ltd., Xinyang 464000, China)

**Abstract:** This article elaborates on the relevant research progress of fragrant rice from the following six aspects: the concept, types, and distribution of fragrant rice; the nutritional and medicinal values of fragrant rice; the chemical composition of its aroma, the formation and metabolic regulation mechanisms of aroma compounds; research progress on the genetics and breeding of fragrant rice aroma; methods for detecting the aroma of fragrant rice; and suggestions for the

market-oriented development and application of fragrant rice. It aims to lay a theoretical foundation for improving the quality and nutritional value of fragrant rice, increasing farmers' income, promoting agricultural development, and promoting the high-quality industrial development of fragrant rice.

**Key words:** fragrant rice; fragrant rice value; control mechanism of aroma compounds; genetic breeding of fragrant rice; fragrance detection methods; development and application of fragrant rice

收稿日期: 2024-10-09

**基金项目:** 信阳市重点研发与推广专项(20230022); 国家水稻产业技术体系建设专项(CARS-01-101); 国家自然科学基金项目(U2004141、12305399); 河南省水稻产业技术体系水稻育种岗位专家项目(HARS-22-03-G2); 河南省重点研发专项(231111110500)

**作者简介:** 郭桂英(1981-), 女, 河南安阳人, 硕士, 副研究员, 主要从事水稻遗传育种研究。(E-mail) guiyi89@sohu.com

**通讯作者:** 扶定, (E-mail) Fuding04.@126.com; 祁玉良, (E-mail) xynkqu.l@163.com

水稻(*Oryza sativa* L.) 是世界上最古老也是最重要的粮食作物之一,世界上约 50% 的人口以稻米为主食<sup>[1]</sup>。因此,稻谷产量和稻米品质对于保障全球的粮食安全具有至关重要的意义。除此之外,稻米在为人类提供必需的营养物质和满足能量需求、生态环境保护及维护人类健康、促进全球经济发展等方面都具有巨大的促进作用。随着社会发展,人们对稻米的内在需求也在不断发生变化。近些年来,人们对稻米的需求逐渐从提供能量提升为对其蒸煮食味品质,乃至医疗保健功能等方面的需求。因此可见,消费者对稻米的需求正逐渐向优质化、多样化和个性化方面发展。因此,在水稻育种研究中,必需根据市场需求不断培育出更多优质、高产、稳产、抗性强等综合性状优良的特种稻品种,同时扩大种植面积,不断满足市场需求,增加稻农收入,从而有效提升农民种稻的积极性。

通常情况下,人们把具有特殊遗传性状和用途的水稻称为特种稻,主要包括香稻、有色稻和专用稻三大类型<sup>[2-3]</sup>。水稻遗传育种的基础和根本是综合性状优良的遗传资源,香稻作为特种稻的一个主要类型,因其稻米甚至整株都具有浓郁的香味而受到人们的青睐。香米的经济价值很高,因富含人体新陈代谢过程中所必需的多种蛋白质、氨基酸、生物碱、维生素 B、维生素 C 等而具有特殊的滋补、药用效果,因此被誉为水稻中的珍品<sup>[4-5]</sup>。用香米制作成的特色美食和佳酿,如粽子、汤圆、糕点、米酒、饮料等,因其能够散发出沁人心脾的天然稻米香味而深受消费者喜爱。香米在历史上也被雅称为“贡米”,在一段时间内专供皇宫。另外,根据明代著名医药学家李时珍编著的《本草纲目》记载,香米具有“润心肺,和百药,久服轻身延年”的药用功效。

## 1 香稻的概念、类型和分布

### 1.1 香稻的概念

香稻是指栽培稻中的茎、叶、花、谷、米都能挥发天然香味,且具有稳定遗传性状的自然群体<sup>[6]</sup>。香米具有香气馥郁、米粒晶莹、清香可口、营养丰富等优点,此外,色稻、甜米资源也有天然的香味。另外,几乎所有的香稻类型在田间生长期间地上部整株都能散发出天然的特殊香味。

### 1.2 香稻的类型

香稻一般被分为籼香稻、粳香稻 2 个主要类型,

而人们从香稻的籼亚种、粳亚种中又划分出黏稻、糯稻 2 个类型,其果皮颜色还有黑色、白色、红色、褐色、紫色之分<sup>[7]</sup>。用香米熬粥煮饭时散发出的香味,沁人心脾,令人心旷神怡。不同香稻散发出的香味成分存在差异,即不同香稻品种的香味存在差异。根据散发的气味差异,可将香稻的香味分为爆玉米花香、桂花香、烤面包香、茉莉花香、山核桃香、莴苣笋香、紫罗兰香等<sup>[8]</sup>不同香味类型。

### 1.3 香稻的分布

目前,香稻在国际上几乎各个水稻生产国皆有栽培,中国、巴基斯坦、印度、伊朗、孟加拉国和美国为主要种植区<sup>[9]</sup>,但主要集中在东亚、南亚和东南亚等地,著名的种类有巴基斯坦的 Basmati 系列、泰国的 KDML105 等。其中,原产地在巴基斯坦和印度交界处的喜马拉雅山南麓的巴斯玛蒂最具盛名,由巴基斯坦选育的籼型常规水稻 Basmati370 是最有名气的香稻品种<sup>[10]</sup>。香稻品种 Basmati370 的香味浓,米粒长,透明度好,食味品质优良,属于感光性较弱的籼型中稻,在巴基斯坦、泰国、阿富汗、印度、孟加拉国等国家被广泛种植。1987 年,中国采用聚焦太阳能辐射诱变处理著名的优质香型籼稻品种 Basmati370,并于 1991 年培育出了不仅能够保持 Basmati370 的优良品质,且具有特殊香味的巴太早香 1 号<sup>[11]</sup>等一系列优良稻米品种。另外,泰国的 KDML105(茉莉香 105)<sup>[12]</sup>、Jasmine85<sup>[13]</sup>在世界各区域也都有分布。

中国香稻的种植历史悠久,在全国 15 个省份均有栽培,并且各个香稻产地均有其主导品种。例如,陕西省的洋县香谷、寸(香)米、汉中黑香糯等<sup>[14]</sup>;山东省的曲阜香稻、明水香稻和临沂塘米等<sup>[15]</sup>;云南省的三角大香糯<sup>[16]</sup>、紫香糯<sup>[17]</sup>、勐海香米等<sup>[18]</sup>;贵州省的从江香禾糯<sup>[19]</sup>、黔禾香 1 号<sup>[20]</sup>、贵香 1A<sup>[21]</sup>;四川省的川香优 2 号<sup>[22]</sup>、川香优 9838<sup>[23]</sup>、川香 9 号<sup>[24]</sup>;江苏省的苏御糯<sup>[25]</sup>;江西省的黎川黎米<sup>[26]</sup>、黄禾子<sup>[27]</sup>、新香优 906<sup>[28]</sup>;广东省的粤香占<sup>[29]</sup>、丰八占<sup>[30]</sup>、香丝苗 2 号<sup>[31]</sup>等;广西壮族自治区的古辣香米<sup>[32]</sup>、红香稻 823<sup>[33]</sup>、丝香优香丝<sup>[34]</sup>等;安徽省宿州市的夹沟香稻<sup>[35]</sup>。另外,河南省信阳市是中国南北稻区的过渡带,该地区夏季雨热同步,具备发展水稻生产的地域优势和生态环境,加上该地水稻种植历史源远流长,水稻是该地首要粮食作物,香稻则是当地的一大特色。目前,豫南稻区科研院所和高校已经培育出了一系列优质香稻品种,如息县香稻

丸<sup>[36]</sup>、广两优 916<sup>[37]</sup>、香丰 916<sup>[38]</sup>、香优 24<sup>[39]</sup>、香宝系列<sup>[40]</sup>、红香系列<sup>[41]</sup>等。

## 2 香米的营养价值和药用价值

### 2.1 香米的营养价值

香稻是中国珍贵的特种稻资源,其稻米(香米)因富含人体新陈代谢过程中必不可少的多种营养物质(如蛋白质和氨基酸、维生素 B、维生素 C、生物碱等)而具有很好的滋养效果。香米不仅能制作成家常饭、八宝粥、甜品糕点(汤圆、粽子、米糕、米果、糍粑等),还能作为加工原材料制成甜酒、保健饮品、保健糖果、营养粉等保健食品<sup>[42]</sup>。此外,香米口感极佳,这也是中国历代帝王都把香米誉为“贡米”的主要原因,并且香米曾是皇室的专享美食<sup>[2]</sup>。

### 2.2 香米的药用价值

根据明代李时珍编著的《本草纲目》记载,香米除了具有很高的营养价值外,还具有“润心肺,和百药,久服轻身延年”的药用功效。有研究发现,香米含有丰富的蛋白质和氨基酸、维生素、淀粉酶、麦芽糖酶、生物碱及人体必需的微量元素,因此具有很好的滋补和药用功效。徐九文带领他的育种团队培育出了硒元素含量高达 431  $\mu\text{g}/\text{kg}$  的富硒香稻新品种白香粳,其硒含量是泰国香米的 7.66 倍,钙元素含量是泰国香米的 2.58 倍,铜元素含量则比泰国香米高 48%<sup>[43]</sup>。香米中含有足够的锌、铁等人体新陈代谢必需的微量元素、氨基酸、维生素 B、维生素 C、生物碱等,能够起到补脾、健胃、清肺等药用效果,对头晕、目眩和贫血等不良症状有很好的治疗效果<sup>[44]</sup>。除此之外,香米散发出的香味不仅能够让人们很快消除疲劳,令人神清气爽,而且对治疗厌食等有很大帮助。由此可见,香米具有重要的药用功效。近期的研究发现,香米除了含有人体新陈代谢必需的蛋白质、氨基酸、微量元素等,还含有生物碱、黄酮和葡萄糖苷等生物活性物质,具有很好的营养价值和药用功效<sup>[45-46]</sup>。此外,香米除了可以直接单独蒸煮或与其他谷类搭配烹饪外,还可以作为优质原材料应用于食品加工业。

## 3 香稻香味相关的化学成分、香味物质形成和代谢调控机制

香米是一类具有浓郁芳香气味的稻米,香稻中挥发出来的香味的重要成分是 2-乙酰-1-吡咯啉(2-acetyl-1-pyrroline, 2-AP)<sup>[47]</sup>。有研究发现,香米中含

有约 114 种挥发性有机化合物<sup>[48]</sup>,其中 2-乙酰-1-吡咯啉为香米香味的主要有效成分,并且对于不同香稻品种而言,该化合物浓度也存在差异,普通大米中的 2-乙酰-1-吡咯啉含量不到香米中含量的 10%<sup>[47]</sup>。2-乙酰-1-吡咯啉等挥发性芳香物质<sup>[6]</sup>在糙米的果皮、种皮及糊粉层内存在。与稻米香味有关的关键基因是第 8 号染色体上的甜菜碱醛脱氢酶 2 基因(*Badh2*),*Badh2* 蛋白功能缺失会引起稻米中香味物质 2-AP 的累积,进而使稻米散发出芳香气味<sup>[49]</sup>。使稻米发出香味的其他化学成分还有 2-乙酰-2-噻唑啉、2-乙酰对氯苯、2-乙酰-1,4,5,6-四氢吡啶等。由于香味物质的化学成分、结构的差异,不同香稻挥发出来的香味也存在较大不同,并且由于受到主观因素的影响较大,截至目前还没有统一的评价标准。通常情况下,香米中的香味可分为桂花香、莴苣香、茉莉香等类型,太浓郁的香味甚至有鼠粪气味。在云南地区,有一种地方特色稻米品种在蒸煮时挥发出来的特殊气味能够使蒸熟的米饭即使在炎热的夏季于自然条件下放置很多天也不会腐烂变质,这种气味也因此被称为防腐气味。这种带有防腐作用的化学物质值得科研工作者进一步探究,通过分析其防腐物质、防腐机制等,将其广泛应用于食品加工业,从而推动水稻科研向纵深方向发展。

## 4 香稻香味遗传和香稻遗传育种研究进展

### 4.1 香稻香味相关遗传研究进展

香稻的香味属于质量遗传性状,根据试验调查结果,将香稻遗传模式分为如下 4 种不同类型:(1)大多数国内外学者赞成的观点,即香稻的  $F_2$  代自然群体中的香单株:非香单株=1:3,因此得出这是由 1 对隐性主效基因控制的香稻香味遗传类型,相关香稻品种有宜香 1A<sup>[50]</sup>、泸香 90A<sup>[51]</sup>等。(2)若  $F_2$  代自然群体中出现香单株:非香单株=3:1 的情况,则说明香味遗传由显性单基因控制,该类型在香稻研究的早期(最早始于 1976 年)被报道<sup>[52]</sup>。(3)由 2 对独立遗传的隐性基因控制的香味表达类型,如湘香 2A<sup>[53]</sup>、川香 28A<sup>[54]</sup>等。(4)由 3 对或 4 对互补、多基因等控制的香味遗传类型<sup>[55]</sup>。从事香稻研究的人员通过大量科学试验,已经把控制香味的隐性基因(*fgr*)定位在第 8 号染色体上。徐建龙等<sup>[56]</sup>将经过干燥处理的高秆、迟熟、优质晚香糯 ZR9 种子置于高空气球上进行



空间诱变试验,然后结合外观品质对其变异后代进行抗性鉴定筛选试验,发现用系统选育方式育成的优质晚糯新品种的生育期缩短,株高下降,单株有效穗增多,但没有香味。有研究者用 60 对简单重复序列(SSR)引物针对 32 个香稻品种的遗传多样性进行检测,发现平均每对引物可以精确检测到 3.13 个等位基因,共测出 188 个等位基因,并发现不同香稻品种间的遗传相似系数值变幅为 0.510~0.960,均值为 0.697;以遗传相似系数 0.580 作为分界点,把这些香稻品种区分成遗传相似系数平均值为 0.707 的粳稻类群和遗传相似系数平均值为 0.816 的籼稻类群,得出试验材料中籼稻类群的遗传相似系数比粳稻类群大、不同品种间的遗传差异性较小的结论<sup>[1]</sup>。

香米是一种具有特殊芳香气味的优质稻类型,其米粒晶莹,香味独特、易挥发、沁人心脾,营养丰富,不仅能够满足人们日常的膳食需求,还具有润肠通便、健脾养胃等药用功效,用其制作成的各种米糕、米酒等食品,深受广大消费者欢迎。随着生物化学与分子生物学技术在香稻研究中的深入应用,香稻及其复杂的香味物质形成、代谢调控机制也将逐渐清晰,并在香稻育种实践中加以应用。在香稻研究的起步阶段,尽管有一些研究者认为,香稻是在多个数量性状座位(QTL)共同作用下产生香味的,但是很多研究者认为,单个或多个细胞核显性或隐性基因可能参与调控香稻的香味。很多研究发现,促使香稻产生香味的关键基因是位于第 8 号染色体上的单个细胞核隐性基因 *Badh2*,并由其编码 1 种甜菜碱醛脱氢酶(*Badh2*)<sup>[57-58]</sup>,香味形成的关键是该位点相关序列产生突变及与之相应的蛋白质功能的缺失。研究得出,香稻的香味受到 17 个香味相关基因 *Badh2* 的突变位点控制,当在主要突变位点的第 2 外显子上出现 7 bp 碱基缺失或在第 7 外显子上出现 8 bp 碱基缺失或 3 个单核苷酸多态性(SNP)时,会产生香味<sup>[59-60]</sup>。当 *Badh2* 基因发生突变或被敲除后,都能够使其翻译提前结束,从而导致 BADH2 蛋白功能性缺失,合成 2-乙酰-1-吡咯啉(2-AP)并大量累积,进而引起水稻叶片、籽粒散发出浓郁香味<sup>[5,57,61-63]</sup>。通过克隆分析得出,*Badh2* 基因包含 14 个内含子、15 个外显子,编码序列(CDS)总长度为 1 512 bp,编码 503 个氨基酸<sup>[59,64-65]</sup>。除了比较常见的 *badh2-E2*、*badh2-E7* 突变基因类型外,在 *Badh2* 位点还检测出其他与香稻香味形成有关的等位基因<sup>[60,66]</sup>,如 *badh2-E4-5* 和 *badh2-P-5'*非翻译

区(UTR)突变基因类型,其 *Badh2* 基因的表现是在第 4、第 5 外显子中出现了 1 个 803 bp 片段缺失的突变,而 *Badh2* 基因在不同启动子区和 5'UTR 区产生了 8 bp 插入和 3 bp 缺失突变<sup>[64,67]</sup>的现象。研究还发现,从不少地方香稻品种中也检测出 *Badh2* 基因在第 1 外显子和第 1 内含子结合位点的区域出现了单个核苷酸[G/T,单核苷酸多态性(SNP)]位点多态性突变(*badh2-E1,2*)的现象<sup>[68]</sup>,此外发现 *Badh2* 基因在第 12 外显子上产生了 3 bp 缺失突变(*badh2-E12*)<sup>[69]</sup>。由此可见,在不同功能区或调控区产生的位点突变现象都有可能导致 *Badh2* 基因的功能缺失,从而导致水稻植株不同部位产生香味<sup>[4]</sup>。曾跃辉等<sup>[70]</sup>对 32 份香稻亲本材料的香味基因进行分子鉴定,得出 87.5% 的材料在选育过程中采用了类似的香味基因资源,另外有 12.5% 的香稻材料的香味性状或许不受 *Badh2* 等位基因控制,其主要原因在于其中 2 份材料在 *Badh2* 位点上表现为杂合基因型,其余 2 份材料在 *Badh2* 基因第 2、第 7 外显子处都没有表现出碱基缺失突变;采用无性繁殖技术和基因测序进一步分析得出,通过分子鉴定得到的大部分香味基因具备非常完整的 *Badh2* 位点编码序列。除此之外,曾跃辉等<sup>[70]</sup>还通过研究得出,其中 2 份特殊材料主要在第 2、第 4 内含子区域产生少数位点的多态性突变现象,而且具有多个相似位点的基因突变。因此,曾跃辉等<sup>[70]</sup>根据水稻香味基因 *Badh2* 在第 7、第 2 外显子处的位点多态性特性,研制出了针对特定目标性状的功能性分子标记,能够精准高效地辅助传统育种,筛选出优质杂交香稻新品种。

雷振山等<sup>[71]</sup>对 12 个香稻品种的研究发现,其香味基因均在第 7 外显子上发生主要变异。彭波等<sup>[72]</sup>对豫南稻区 16 个香稻品种的研究发现,其中 5 个香稻品种属于第 7 外显子突变类型,4 个香稻品种属于第 2 外显子突变类型。王丰等<sup>[73]</sup>通过对 16 个香稻品种资源的研究得出,这些品种均属于第 7 外显子突变类型。姜达等<sup>[74]</sup>对 27 个综合性状优良的香稻品种进行研究得出,其中 20 个品种属于第 7 外显子突变,但是没有发现第 2 外显子突变类型。有研究发现,在品种(品系)选育过程中,上海黑糯和上海黑糯选 4 都有香味,但是控制香味的基因 *Badh2* 在第 2 外显子、第 7 外显子等 2 个主要突变位点却未发现任何突变现象。

以上一系列研究结论对于进一步发掘新的香味

基因、探索香稻香味形成的分子机制及进一步培育出更优质的香稻品种具有非常重要的参考价值。

## 4.2 香稻遗传育种研究进展

香稻是指自身含有香味物质的稻米,其香味强度超过人类对香味的识别阈,在蒸煮或品尝过程中能散发出令人敏感的香味<sup>[75]</sup>。稻米香味是一项重要的品质指标<sup>[73]</sup>,香米因其独特的香味及营养价值而在国际稻米市场上占有重要地位<sup>[76]</sup>,并深受广大消费者的欢迎,其市场价格也普遍高于普通稻米<sup>[77]</sup>。因此,香稻研究成为当前水稻研究的热点。香稻在中国的栽培历史悠久,例如,靖西香糯早在南宋时就被列为朝廷贡品,直到现在仍是享誉国内外的优良品种<sup>[78]</sup>。中国的香稻育种工作始于20世纪80年代初,截至目前中国已经培育出一大批香稻品种。

香稻育种通常包括常规香稻育种、杂交香稻育种、常规育种结合分子标记辅助选育等育种方式。

4.2.1 常规香稻育种 常规稻不需要使用不育系,其杂交育种后代的特征、特性稳定,可以自交留种,且后代不会发生分离。目前,常规育种方法是育种工作中常用的传统育种方法<sup>[79]</sup>。

自20世纪90年代以来,湖南省水稻研究所采用从国际水稻研究所引进的香稻资源80-66,陆续培育出了湘晚籼5号、湘晚籼10号、湘晚籼13号、湘晚籼17号和玉针香等一系列优质常规香稻品种<sup>[80]</sup>。广东省农业科学院和台山市农业科学研究所也选育出了美香占2号、象牙香占等优质常规香稻品种,并将其作为高档品牌“丝苗米”打造的核心品种<sup>[81]</sup>。湖南省水稻研究所育种团队用优质香稻品种玉针香的辐射株与象牙香占杂交,培育出了感温型、香味浓郁且米粒细长的优质常规香稻品种松雅77(审定编号:湘审稻20243024)<sup>[82]</sup>,该品种于2023年在湖南省第十五次优质稻品种评选中被评定为二等优质晚稻。松雅77的亲本之一玉针香(审定编号:湘审稻2009038)属于常规香稻,株高较高,是湖南省水稻研究所优质香稻天龙香103为母本、R1045为父本杂交选育而成的,在2006年被评为湖南省一等优质稻品种,其香味浓郁,连续2届在全国优质稻食味品质鉴评中作为籼稻组的对照品种,并在全国优质稻品种食味品质鉴评中也获得金奖。象牙香占(审定编号:粤审稻2006044)是松雅77的另一亲本,是广东省台山市农业科学研究所用香丝苗126与象牙软占杂交选育而成的感温型优质

常规香稻品种,其稻米品质达到国标优质二等,且香味浓郁,2018年获评首届全国优质稻食味品质鉴评金奖和广东丝苗米产业联盟“广东丝苗米首批认定品种”。

湖北华之夏种子有限公司以农香32的优良单株为母本、粤抗1122为父本进行杂交,通过连续多代高压定向选育而成适应性强、丰产性好、米质优良的国标二级浓香型常规稻新品种华夏香丝(审定编号:桂审稻2024046号)<sup>[83]</sup>,该品种于2021年12月获评武汉市首届“江城优米”优质米品鉴会冠军。

柳州市农业科学研究中心以桂育9号为母本、粤农丝苗为父本,经过连续7代的选育,培育出了高产、优质、食味好的感温型常规籼型优质香稻新品种柳农丝苗(审定编号:桂审稻2022160)<sup>[84]</sup>,其香味类型为爆米花香,香味分值为74分。

2007年春季以粤晶丝苗2号为底盘品种,先后与香谷和广丰香8号杂交、复交,进行目标选育,历经10代系谱选育,并于2020年11月通过广东省农作物品种审定的粤香430(审定编号:粤审稻20200063)<sup>[85]</sup>,是广东省第1批参试并通过审定的感温型常规香稻新品种,稻米品质达部级标准优质I级,米饭浓香,食味分值为84.0~91.0,曾获广东省首届稻米发展大会金奖。

4.2.2 杂交香稻育种 中国自开展香稻研究工作以来,尽管已经发掘并选育了一批常规香稻品种,但其产量较低、适应性较差等缺点导致其推广面积较小。然而,香型杂交水稻品种能够平衡香稻高产与优质之间的矛盾<sup>[86]</sup>,只有创制出优质、高配合力且具有香味的水稻不育系或恢复系,才能培育出优质高产的杂交香稻组合<sup>[75]</sup>。

大量研究发现,杂交水稻品质较差的主要原因是不育系品质低劣,而解决这一难题的有效途径是培育优质水稻不育系<sup>[87]</sup>。因此,香型优质不育系的选育对于提升杂交香稻的品质尤为重要。

4.2.2.1 香型两系不育系及两系杂交香稻的选育 两系法杂交稻组配自由,容易组配出强优势组合,且育种程序简单,育种周期短,可以快速培育出杂交水稻新品种<sup>[88]</sup>,而优质强配合力两系不育系是组配高产优质杂交稻的基础<sup>[89]</sup>。

(1) 香型两系不育系的选育。黄香占S(审定编号:鄂审稻20210099)<sup>[90]</sup>的选育是在 $F_2 \sim F_5$ 代先筛选可育优米单株,每个世代选3~5株,至 $F_6$ 代首次

从优良株系中选择开花习性好的不育株,其稻米品质达到《食用稻品种品质》(NY/T593-2013)Ⅰ级标准,有香味,综合性状优良,配合力强。黄两优 913(审定编号:鄂审稻 20210017)是以黄香占 S 为母本组配的两系杂交香稻品种。

郴州市农业科学研究所于 2015 年用香 96S(培矮 64S/Z9S)与深 08S 杂交后经过 5 年 10 代定向培育,得到具有浓郁的爆米花香味、高异交率、抗倒伏等优点的香型水稻两用核不育系宸 6S<sup>[89]</sup>,并于 2020 年申请植物新品种保护(品种申请公告号:CNA041246E),2021 年 8 月通过安徽省技术鉴定。宸 6S 与一系列恢复系组配出了多个优异组合,其中,与恢复系 R36 测配的宸两优 36 于 2022 年通过国家农作物品种审定委员会审定(审定编号:国审稻 20220110)。

(2)两系杂交香稻的培育。将不育系 7-163S 与贵非香占杂交,之后经过多年系统选育,培育出了综合性状优良的中粳香型两系杂交水稻品种永两优 206<sup>[91]</sup>,并于 2023 年经安徽省农作物品种审定委员会审定通过,其米质达《食用稻品种品质》(NY/T593-2013)Ⅱ级标准。

安徽原谷公社生态农业科技有限公司育种团队在培育早熟香稻新品种原谷珍香<sup>[92]</sup>的基础上,采用浓香型长粒两系香稻不育系太 206S 和常规香稻品种原谷珍香进行组配,选育出了综合性状好的全香型长粒型两系杂交水稻新组合太两优珍香(审定编号:皖审稻 20221071)<sup>[93]</sup>。

#### 4.2.2.2 香型三系不育系及三系杂交香稻的选育

(1)香型三系不育系的选育。福建省农业科学院生物技术研究所以 2013 年秋天以浓香型优质保持系泸香 618B 为母本,与谷粒细长的保持系泰丰 B 进行杂交,得到 F<sub>1</sub>代,再与泸香 618B 回交,通过聚合其双亲优点,形成综合性状优良的材料群体,之后用泰丰 A 测交、回交,经连续多世代的育性筛选与米质、抗稻瘟检测并通过转育,育成不育性稳定的优质三系香型不育系智谷 A(鉴定编号:闽鉴稻[不育系]2023017)<sup>[94]</sup>,其稻米品质达《食用稻品种品质》(NY/T593-2013)优质Ⅱ级标准,易配制优质香稻品种。智谷 A 与恢复系华占、荟恢 618、荟恢 628 等恢复系配制的一系列优质杂交稻新组合的综合性状表现良好,且均较对照增产。

江西省超级水稻研究发展中心于 2011 年在海南冬季加代繁殖过程中运用中浙 12B/泸早 7B//中浙

12B 杂交后代与中浙 A 经连续回交转育而成优质中粳香稻三系不育系元香 A(鉴定编号:赣审稻 20220048)<sup>[95]</sup>,并组配出了优质香稻品种元香优 651(审定编号:桂审稻 2023114 号),其保持系元香 B 的香味检测结果为爆米花香(香味分值 81 分),整体品质达《食用稻品种品质》(NY/T593-2013)Ⅲ级优质米标准。

研究者于 2013 年春季在海南三亚用荃 9311B 作母本与恒丰 B 杂交,在 F<sub>3</sub>代选择有香味且性状优良的单株与荃 9311A 测交并经过连续多代回交选育出不育性稳定、抗病性强的粳型三系香稻不育系悠香 123A<sup>[96]</sup>,并用悠香 123A 与长优 2 号组配出粳型三系杂交香稻悠香优 2 号(审定编号:国审稻 20210231),香味分值为 75 分,稻米品质达《食用稻品种品质》(NY/T593-2013)Ⅲ级标准。

目前,由宜宾市农业科学院育成的浓香型三系不育系骨干亲本宜香 A 已被广泛应用于优质香型杂交稻育种中,并成功育成了一系列品质优良的杂交稻组合,如宜香优 2115<sup>[97]</sup>、宜香优 62<sup>[98]</sup>、宜优 727 等<sup>[99]</sup>。在此基础上,宜宾市农业科学院以宜香 9B(宜香 1B/II32B)为母本,与宜香 1B 进行杂交,在 F<sub>3</sub>代选择优良单株与印水型胞质的宜香 6A 测交,通过连续多代回交转育育成中粳迟熟型优质香稻三系不育系酒都 A<sup>[100]</sup>,是对大面积应用的三系不育系宜香 1A 的改良升级,显著提升了异交结实率,使开花时间提前,并提高了整精米率。2021 年酒都 A 通过四川省农作物品种委员会技术鉴定,并组配出三系杂交香稻品种酒都优 586(审定编号:川审稻 20222010)。

四川省农业科学院水稻高粱研究所于 2005 年秋季在海南省用三系保持系泸香 618B 与泸 6B 杂交,将杂交 F<sub>1</sub>代用川谷 A 测交和连续回交,历经 13 年选育得到优质香型粳稻不育系玉龙 1A<sup>[75]</sup>,具有不育性稳定、可恢复性强、配合力高等优点,稻米品质达《食用稻品种品质》(NY/T593-2013)Ⅱ级标准。此外,研究者用玉龙 1A 组配出了中粳迟熟三系杂交水稻玉龙优 1611(审定编号:国审稻 20210038)、玉龙优金占(审定编号:川审稻 20222017)、玉龙优 4001(审定编号:黔审稻 20220003)等。

花香 A 是四川省农业科学院生物技术核技术研究所通过航天育种技术培育而成的具有红褐色标记性状的优质高配合力浓香型水稻三系不育系,



2007年通过四川省品种审定委员会组织的专家技术鉴定<sup>[57,101]</sup>,由不育系花香A和川恢907组配的花香7号,已通过重庆市、四川省、云南省和贵州省农作物品种审定,其稻米品质优良,达《食用稻品种品质》(NY/T593-2013)Ⅲ级标准<sup>[57]</sup>。

(2)三系杂交香稻的培育。蒂香A是广西万禾种业有限公司选育的长粒香型水稻三系不育系<sup>[102]</sup>,其恢复系R166是广西万禾种业有限公司于2013年春季利用恢复系测253与育种中间材料丽丝占/象牙香占进行有性杂交选育而成的,聚合了母本的强优势且具有恢复范围广、父本香型优质等优点。感温长粒粳型三系杂交水稻组合蒂香优166(审定编号:桂审稻2023009)<sup>[103]</sup>是利用恢复系R166与三系不育系蒂香A组配而成的,其稻米品质达《食用稻品种品质》(NY/T593-2021)Ⅲ级标准;具有爆米花香味,香味分值为75分,符合《香稻米》(NY/T596-2002)中粳型香稻米的标准要求。

为了充分利用遗传背景的差异和地理远缘优势,福建省农业科学院水稻研究所等选育单位以福恢669为父本与野香A杂交,通过多年、多点的抗病性鉴定、品质分析和生态适应性评价和筛选,培育出抗病优质香型杂交稻新品种野香优669<sup>[104]</sup>,其品质达到《食用稻品种品质》(NY/T593-2013)Ⅰ级优质米标准,获得2018年福建省第九届优质食味鉴评金奖,2023年被福建省农业农村厅推选为福建省农业主导品种。

#### 4.2.3 常规育种方法结合分子标记辅助选育香稻

香味基因的克隆和功能标记开发,为水稻育种工作提供了重要理论依据和技术支撑。目前,国内外已经开展了大量香稻资源的筛选和鉴定研究,发现水稻香味基因起源于野生稻,并普遍存在于不同栽培稻中<sup>[105]</sup>,这为香稻育种工作提供了丰富的种质资源。筛选具有香味基因的优良亲本,可以同时有效利用其香味基因和其他优良性状,对于提升稻米品质、加速育种进程具有重要意义<sup>[57]</sup>。

分子标记辅助选择育种不受外界因素的影响,采用与目标基因紧密连锁标记,对目标单株进行标记基因型的鉴定,同时结合田间农艺性状筛选,进行多基因聚合,可以快速弥补品种个别性状的缺陷,有效提高育种效率,缩短育种年限,常用于连续回交育种过程中对受体目标性状进行定向改良,是现代分子育种的重要手段<sup>[106]</sup>。有研究者利用*OsBadh2*基因第7外显子上8 bp的缺失,开发了功能标记FG-

Badh2,借助分子标记辅助选择技术(MAS),在低世代追踪*OsBadh2*基因;采用常规育种方法结合分子标记辅助选育的手段,历时6年育成了抗倒伏性好、整精米率高的香稻新品种那谷香(审定编号:桂审稻2021177)<sup>[107]</sup>,其米质符合《食用稻品种品质》(NY/T593-2013)优质Ⅰ级食用长粒形粳稻品种的品质要求,2019年晚稻香味综合评分为78分,香味类型为爆米花香味,2022年获评第五届广西好稻米优质品种银奖。

有研究者分别以香稻品种巴太香占、象牙香占为父本、母本进行杂交,并鉴定其香味、稻瘟病抗性的基因型。经过多代分子标记检测和杂交选育,成功育成同时含有*Badh2-E7*、*Pita*、*Pi5*、*Pi2*的早晚稻兼用细长型优质香型常规粳稻品种桂香99(审定编号:桂审稻2020186)<sup>[108]</sup>,其香味分值为75分,符合《香稻米》(NY/T596-2002)对香味的要求。

此外,CRISPR/Cas9技术<sup>[109]</sup>作为目前应用得最广泛的基因编辑技术,可以对内源基因组进行敲除、插入、碱基替换、点突变等修饰,从而快速改良品种的关键性状,克服基因连锁效应带来的障碍,获得具有优良性状的新品种,未来该技术可能在水稻遗传育种改良研究中发挥作用。

## 5 香稻香味的检测方法

关于香稻香味的检测,目前可采用咀嚼法、KOH浸泡法、化学显色法及气相色谱-质谱联用仪检测法(GC-MS)等主观、客观检测方法,甚至可用多种检测方法相结合的方式检测香稻材料中的香味<sup>[4,110-111]</sup>。另外,在香稻新品种培育及优良品种繁育的进程中,在水稻生长发育的各个阶段,都能用火焰熏蒸法鉴别香稻的香味,这种香味鉴别方法能够在稻田中准确筛选出水稻香味的纯合基因型,是一种简便、快速、高效的辨别水稻香味表型的检测方法<sup>[112]</sup>。

### 5.1 咀嚼法

咀嚼法即用口腔直接咀嚼糙米,而后根据人类的味觉、嗅觉器官感知稻米的香味。目前,米粒咀嚼法主要借鉴张江丽等<sup>[113]</sup>的方法进行鉴别试验,具体操作步骤如下:选择完全成熟的饱满干燥的水稻籽粒15粒,碾磨成糙米后分别咀嚼每粒糙米并对其香味进行鉴别。需要注意的是,稻米的香味试验一定要以非香味材料作为对照,还至少要选取3位检测者并设置多次重复进行香味的鉴别评价。由于每

个人的味觉、嗅觉感知存在很大差异,甚至有人在咀嚼时难以对稻米香味进行判别,因此咀嚼法仅可用于稻米香味的初步鉴别。

## 5.2 KOH 浸泡法

KOH 浸泡法的做法是在水稻分蘖期间,取 2 g 左右待检测材料的单株叶片,而后切成 5 mm 左右碎片,并将处理好的叶片放在培养皿或玻璃瓶内,再加入 10 mL 1.7% KOH (0.3 mol/L) 溶液浸泡并盖上密封盖,通常在室内常温条件下放置 10 min 后开启密封盖,根据检测者的嗅觉分辨其散发出的气味,进而判断是否有香味。为了避免人的嗅觉差异而产生的误差,每次试验过程中不仅要以非香味材料作为对照(CK),还要分别选取至少 3 人作为检测者,并通过多次重复试验对其香味进行鉴别、评价。水稻香味的检测具体参照 Sood 等<sup>[114]</sup>的方法。在用 KOH 浸泡法检测水稻香味的过程中,需要提前取样并配制 KOH 溶液,过程比较繁琐,还需要相应的化学试剂、仪器设备等,试验过程中还可能存在较大人为误差。

## 5.3 显色法

显色法是一种常见的化学分析方法,其原理是利用分析物与试剂发生化学反应而产生 1 种或多种有色产物,从而达到分析的目的。这种方法被普遍应用在食品安全、环境检测、医学诊断等领域。化学显色法的优点是操作简单、方便、灵敏度高、可靠性强、成本低等,而且能够同时检测多种分析物,但也存在对环境和健康有影响等缺点。相信随着科技的不断发展、进步,化学显色法也会不断被完善和创新。

## 5.4 气相色谱-质谱联用(GC-MS)仪检测法

目前,气相色谱-质谱联用仪检测法已被应用在农业、生物医药、法医、化工、石油、环境检测等领域,是一种被普遍采用的成熟常规分析技术,其发挥了气相色谱和质谱两者的长处,具备 GC 的高分辨率和高灵活度以及强辨别能力,能够同步实现检测组分的分离、鉴定和定量,当前已经被普遍运用于繁杂组分的分离和判定。在香稻的研究中,这种技术被用来检测和分析香稻中的特征化合物,如 5,6,7,8-四氢喹啉和 2-乙酰基吡咯啉。

通过气象色谱-质谱联用技术,可以鉴定香稻中的挥发性香味成分,并对其中最重要的香气成分进行定量测定,从而研究不同香稻品种的化学成分差

异,为香稻品种的鉴别和品质评价提供科学依据。

综上所述,在香稻研究初期,稻米的香味主要采用直接咀嚼的方式进行主观鉴别,由于每个人的味觉、嗅觉存在客观差异,因而不能客观准确地对稻米的香味作出判断,尤其在稻谷成熟收获期采用该方法进行大田筛选也会耗费大量人力、物力和财力<sup>[2]</sup>。运用曾跃辉等<sup>[70]</sup>研制的分子标记辅助筛选优质杂交香稻新品种的技术,不仅能够在田间育种早期(如秧苗期)对其香味基因进行直接鉴定,而且能够清晰地区分纯合型与杂合型个体,可以有效避免杂合状态下香味基因的缺失而带来的重大损失。因此,分子标记辅助选择能够显著提升水稻育种工作效率并缩短品种培育年限,并能够减少人力、物力和财力上的巨大浪费。香稻研究过程中气相色谱-质谱联用技术的应用,不仅提高了检测的灵敏度、准确性,还为香稻的品质评价和品种鉴别提供了有效手段,促进了香稻产业的发展和品质提升。

# 6 香稻的市场化开发应用

目前,中国人的温饱问题已不再是主要问题,随着国民经济的蓬勃发展和人民生活水平的不断提高,人们的消费观念也从“民以食为天,食以味为先”的阶段提升到“健康饮食文化”的新发展阶段,人们对营养、健康的选择逐渐演变成为一种新的消费理念。因此,怎么让人们吃好、吃得更营养和更健康,已经成为大家关注的热点话题。20 世纪 90 年代以来,随着科技的不断发展和进步,人们通过深入研究发现香稻不仅能够增加消费者的饱腹感、具有营养美味的优点,而且具有健康、保健等一系列复合功能。因此,香稻相关研究得到了水稻育种机构的高度关注,他们不断对现有香稻种质资源进行改良,进一步剖析香稻香味的遗传机制及优良新品种的培育等成为香稻研究的主攻方向,进而推动了特种稻产业的健康发展。当前,中国香稻研究、生产与开发利用有了较大发展,香米走进了千千万万的寻常百姓家,深受广大消费者青睐。

## 6.1 优质香稻品种的培育

香稻的成功推广需要育种单位和种子企业集中大量精力尽快培育出一系列适应市场需求的优质香稻品种,积极提升香稻品牌效应,并建立健全香稻行业协会,积极进行相互交流合作,促使香稻品种的品质不断提升,从而引领香稻产业的高质量发展。



## 6.2 延长香稻深加工产业链

6.2.1 传统的食用方式 将香稻稻谷碾磨加工成大米后,可直接蒸煮食用,采用精美小包装助力香米进入市场,可以打造不同档次的香米品牌。另外,可将香米与普通大米按一定比例混合装袋售卖,也可直接将香米蒸(煮)成米饭或与其他粗粮搭配制作成八宝粥或八宝饭,后直接食用,提升粥(饭)的香味,增加消费者的食欲。例如,中国在 20 世纪 90 年代,用上衣香糯作为八宝饭、八宝粥的生产原料,向食品加工企业供应近万吨米<sup>[115]</sup>。

6.2.2 稻米的深加工 为了持续延长香稻产业链,可从以下几个方面对香米进行进一步的加工:(1)营养保健食品(饮)品。可开发香米系列糕点、饼干、锅巴、元宵、粽子及有色香糯营养粉、香米酒、香型饮料等多种多样的特色香米食品和饮料。(2)香型日化产品和食品添加剂。可用香米制作成天然香皂、洗发水、香水、香囊等日用化学品类产品,既环保又具有特殊的药用保健功效。另外,可以从香稻中提取天然香精作为食品、饮料的香味添加剂。(3)工业染料。有色米所含色素可作为食品加工业、纺织工业等行业的天然染料。(4)保健食品。以香稻糙米为基础研制成的一系列香型营养保健功能食品等,对营养素缺乏症患者有很好的调节作用等。

## 6.3 充分发挥国内外香稻市场的资源优势

应积极加强国内外市场的调研分析,积极把握市场发展趋势,不断完善和改进香稻产品设计,运用高效的市场营销策略,根据国内外市场的变化及时调整香稻产品结构并制定销售策略,积极优化、提升市场服务品质,增强香稻的市场竞争力。

## 6.4 持续调动工作人员的积极性

可以运用多种方式加强对科研人员、市场销售人员和管理人员等的有效激励,调动大家的工作积极性,并及时开展各种培训,不断提升员工的综合素质,激发员工的创新意识,增强员工的创新能力,为香稻科研和企业发展增添新的活力,从而促进香稻产业的高质量发展。

## 6.5 运用信息化管理体系

可以积极推行信息化管理,增强系统化思维模式,改进决策层的组织管理模式,完善信息系统,建立高效的信息化管理体系,保证市场信息安全可靠,从而提升市场的管理效能,节约管理成本,实现高效管理的目标。

## 6.6 健全财务管理体系

可以实施相关财务风险管理,积极实行科学高效的财务报表分析,不断实施科学的财务预算控制,控制好财务成本,从而确保财务稳健运行,为香稻产业的高质量发展提供强有力的保障。

## 6.7 香稻推广模式

建议采用“科研+公司+基地(农场)+市场+售后服务”的香稻推广模式,不仅能够全方位调动相关人员的主动性,更能激发市场活力,提升消费者对香稻产业的满意度,更有助于香稻产业做大做强。

综上所述,香稻产业的高质量发展必需以市场为导向,选育出更多适应市场需求的优质香稻品种,积极提升品牌效应;不断挖掘深加工潜力,不断增加香稻产品的附加值,延长产业链条;严格把控香稻的质量和价格,不断开拓国内外消费市场,运用适合市场需求的香稻推广模式等。因此,必须综合把握研发+市场推广才能够吸引越来越多的消费者对香稻及其相关衍生产品的青睐,实现香稻效益的最大化,进而调动农民种植香稻的积极性,扩大香稻的种植面积,带动香稻产业高质量发展。

## 参考文献:

- [1] 叶卫军,胡时开,李媛媛,等.水稻种质资源的分子鉴定和育种利用[J].分子植物育种,2013,11(4):625-633.
- [2] 王军,杨金欢,杨杰,等.优质紫香糯龙晴4号的紫色和香味的基因型分析[J].分子植物育种,2011,9(6):688-691.
- [3] 魏文嵩,胡纯仰,乡少芹,等.特种稻红米与香味分子标记多重PCR体系的构建与应用[J].分子植物育种,2015,13(5):977-981.
- [4] 彭波,孙艳芳,陈报阳,等.水稻香味基因及其在育种中的应用研究进展[J].植物学报,2017,52(6):797-807.
- [5] 曾跃辉,韦新宇,黄建鸿,等.‘泰国小香占’香味基因的鉴定和功能分子标记的开发[J].分子植物育种,2021,19(13):4409-4417.
- [6] 赵则胜.特种稻研究与利用[J].北方水稻,2007,37(6):1-6.
- [7] 向花香.桂中稻区优质特种稻米的研究进展[J].中国种业,2012(10):14-15.
- [8] 李洪亮,孙玉友.黑龙江省特种稻研究现状及开发策略[J].黑龙江农业科学,2010(8):31-35.
- [9] 谢黎虹,段斌伍,孙成效.香稻的渊源、香味及遗传[J].世界农业,2003(11):49-50.
- [10] 廖伏明.2个巴基斯坦品种的香味遗传[J].杂交水稻,1994,9(2):31.
- [11] 张绍春,姚建秋,陈元深,等.特优高效香稻品种巴太香占1号的选育[J].广东农业科学,2002(5):2-3.
- [12] 黄道强,周少川,李宏,等.茉莉香105的引进及其利用[J].中国稻米,2005,11(5):10-12.
- [13] 潘学彪,邹军煌,陈宗祥,等.水稻品种Jasmine85抗纹枯病主效

- QTLs 的分子标记定位[J]. 科学通报, 1999, 44(15): 1629-1635.
- [14] 应存山. 中国优异稻种资源[M]. 北京: 中国农业出版社, 1997.
- [15] 周家瑜, 李桂生, 靳维标. 山东稻种资源的初步研究[J]. 山东农业科学, 1987, 19(5): 22-24.
- [16] 周凌云, 任兆鸿, 徐卫华, 等. 激光加电磁场诱变滇稻“三角大香糯”的育种初探[J]. 光子·激光, 2002, 13(10): 1074-1076.
- [17] 贺浩华, 刘宜柏, 潘晓云, 等. 特种稻种资源的利用及其系列产品的开发[J]. 江西农业大学学报, 1997, 19(3): 6-11.
- [18] 尹晓菊. 勐海香米育苗技术研发及田间验证[D]. 重庆: 西南大学, 2022.
- [19] 柴东方, 蒋天智, 谭甫成, 等. 原生态从江香禾糯中锌和镍的含量及其生理功能研究[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(31): 17367-17368.
- [20] 佚名. 黔禾香 1 号(黎香 1 号)[EB/OL]. [2024-10-01]. <https://www.ricedata.cn/variety/varis/618770.htm>.
- [21] 赵福胜, 余显权. 粳型香稻三系不育系贵香 1A 的选育[J]. 杂交水稻, 2011, 26(4): 14-15.
- [22] 叶定池, 林 华, 林 辉, 等. 川香优 2 号在温州的种植表现及高产栽培技术[J]. 中国稻米, 2007(1): 27.
- [23] 孙锡发, 涂仕华, 秦鱼生, 等. 免耕条件下川香优 9838 氮磷钾吸收规律与氮肥合理施用研究[J]. 西南农业学报, 2008, 21(1): 110-113.
- [24] 张明华, 陆贤军, 程东进, 等. 香型杂交水稻川香 9 号高产制种技术[J]. 杂交水稻, 2008, 23(3): 24-26.
- [25] 朱正斌, 杨 勇, 冯琳皓, 等. 太湖地区地方特色糯稻品种鸭血糯和苏御糯稻米理化特性研究[J]. 作物杂志, 2020(4): 91-98.
- [26] 毛绪强. 种下黎米收获幸福——江西五圆科农让黎川黎米重获生机[J]. 农产品市场周, 2019(7): 46-47.
- [27] 吕 毅, 宝力道, 赵玉英. 电感耦合等离子体原子发射光谱法(ICP-AES)测定黄禾和谷子中 15 种元素[J]. 中国无机分析化学, 2013, 3(4): 62-64.
- [28] 徐顺辉, 钟家富, 徐华德, 等. 高产香型杂交稻新组合新香优 906[J]. 杂交水稻, 2004, 19(增刊 1): 66-67.
- [29] 廖耀平, 陈钊明, 何秀英, 等. 高收获指数型水稻品种粤香占库、源、流特性的研究[J]. 中国水稻科学, 2001(1): 74-77.
- [30] 周少川, 王重荣, 赵 雷, 等. 丰八占衍生系列优质杂交稻恢复系的系谱和育种利用[J]. 杂交水稻, 2019, 34(1): 6-13.
- [31] 任光俊, 陆贤军, 张 翹, 等. 水稻香味的遗传分析[J]. 西南农业学报, 1999, 12(2): 25-28.
- [32] 张 洋. 古辣香米[J]. 广西农学报, 2023, 38(2): 104.
- [33] 黄日辉, 廖向宜, 韦柳红, 等. 红香稻 823 的选育研究[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(19): 11407-11408.
- [34] 何 懿, 王艳婷, 季 娟, 等. 丝香优香丝[EB/OL]. [2024-10-01]. <http://202.127.42.47:6010/SDSite/Home/Index>.
- [35] 吴继玲. 夹沟香稻米无公害生产的现状与对策[J]. 安徽农业通报, 2004, 10(6): 23.
- [36] 项广永, 李超功, 徐 敏, 等. 息县香稻九种植技术研究及其应用[J]. 河南农业, 2008(11): 52-53.
- [37] 马汉云, 段仁周, 王青林, 等. 优质高产两系杂交稻广两优 916 的选育与应用[J]. 中国稻米, 2015, 21(2): 59-60, 63.
- [38] 扶 定, 沈光辉, 马汉云, 等. 优质香稻恢复系香丰 916 的选育及利用[J]. 杂交水稻, 2020, 35(6): 21-23.
- [39] 王景晨, 黄 星, 栾 静. 优质香稻品种香优 24[J]. 中国种业, 2004(11): 52-53.
- [40] 王景晨, 梁本国, 栾 静. 河南省香米黑米新品种[J]. 作物品种资源, 1995(1): 42-44.
- [41] 王景晨. 特种稻香型红米红香 1 号和红香 4 号[J]. 作物品种资源, 1998(3): 38.
- [42] 张现伟, 王 静, 唐永群, 等. 香稻香味遗传育种及其保香栽培[J]. 基因组学与应用生物学, 2010, 29(3): 550-555.
- [43] 徐九文, 宋爱青, 崔明华, 等. 富硒高产特种稻新品系白香梗[J]. 中国种业, 2001(5): 33.
- [44] 庞瑞华, 黄雅琴, 王景晨, 等. 特种稻的类别及信阳特种稻种质资源研究进展[J]. 湖北农业科学, 2011, 50(17): 3461-3465.
- [45] 柏 鹤, 马小定, 曹桂兰, 等. 不同类型特种稻种质营养及功能性成分含量的差异[J]. 植物遗传资源学报, 2017, 18(6): 1013-1022.
- [46] 全东兴, 韩龙植, 南钟浩, 等. 特种稻种质资源研究进展与展望[J]. 植物遗传资源学报, 2004, 5(3): 227-232.
- [47] 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.
- [48] YAJIMA I, YANI T, NAKAMURA M, et al. Components of cooked rice kaorimai (scented rice, *O. sativajaponica*)[J]. Agricultural Biological Chemistry, 1979, 43(12): 2424-2429.
- [49] SAKTHIVEL K, SUNDARAM R M, SHOBHA RANI N, et al. Genetic and molecular basis of fragrance in rice[J]. Biotechnology Advances, 2009, 27(4): 468-473.
- [50] 包灵丰, 林 纲, 赵德明, 等. 水稻粳型优质不育系宜香 1A 特性研究[J]. 植物遗传资源学报, 2007, 8(1): 86-90.
- [51] 蒋开锋, 郑家奎, 赵甘霖, 等. 水稻不育系沪香 90A 的香味遗传初步研究[J]. 西南农业学报, 2004, 17(1): 135-136.
- [52] DHULAPPANAVAR C V. Inheritance of scent in rice[J]. Euphytica, 1976, 25(1): 659-662.
- [53] 周坤炉, 白德朗, 阳和华. 杂交香稻香味的遗传与应用[J]. 湖南农业科学, 1989(2): 10-12.
- [54] 任光俊, 陆贤军, 张 翹, 等. 优质香稻川香 28A 的选育与应用[J]. 四川农业大学学报, 1998, 16(4): 414-418.
- [55] RAGHURAM R P, SATHYANARAYANIAH K. Inheritance of aroma in rice[J]. Indian Journal of Genetics & Plant Breeding, 1980, 40(2): 327-329.
- [56] 徐建龙, 林贻滋, 奚永安, 等. 高产优质早熟晚糯航育 1 号的选育、特征特性及其栽培技术[J]. 浙江农业科学, 1999(2): 74-76.
- [57] 王霞霞, 白玉路, 王 平, 等. 花香 A 香味基因的鉴定和表达分析[J]. 分子植物育种, 2016, 14(3): 542-547.
- [58] 程 灿, 杨 佳, 周继华, 等. 基于功能性分子标记鉴定香味杂交梗稻亲本[J]. 分子植物育种, 2018, 16(17): 5653-5659.
- [59] BRADBURY L M T, FITZGERALD T L, HENRY R J, et al. The gene for fragrance in rice[J]. Plant Biotechnology Journal, 2005, 3

- (3):363-370.
- [60] SHI W W, YANG Y, CHEN S H, et al. Discovery of a new fragrance allele and the development of functional markers for the breeding of fragrant rice varieties[J]. *Molecular Breeding*, 2008, 22(2):185-192.
- [61] SHAO G N, TANG S Q, CHEN M L, et al. Haplotype variation at *Badh2*, the gene determining fragrance in rice[J]. *Genomics*, 2013, 101(2):157-162.
- [62] 王春萍, 张现伟, 白文钦, 等. 新型香稻渝恢 2103 香味分子遗传特性分析[J]. *作物学报*, 2017, 43(10):1499-1506.
- [63] 邵高能, 谢黎虹, 焦桂爱, 等. 利用 CRISPR/CAS9 技术编辑水稻香味基因 *Badh2*[J]. *中国水稻科学*, 2017, 31(2):216-222.
- [64] SHAO G N, TANG A, TANG S Q, et al. A new deletion mutation of fragrant gene and the development of three molecular markers for fragrance in rice[J]. *Plant Breeding*, 2011, 130(2):172-176.
- [65] SHAN Q W, ZHANG Y, CHEN K L, et al. Creation of fragrant rice by targeted knockout of the *Os-BADH2* gene using TALEN technology[J]. *Plant Biotechnology Journal*, 2015, 13:791-800.
- [66] BRADBURY L M T, GILLIES S A, BRUSHETT D J, et al. Inactivation of an amin-oaldehyde dehydrogenase is responsible for fragrance in rice[J]. *Plant Molecular Biology*, 2008, 68:439-449.
- [67] SHI Y Q, ZHAO G C, XU X L, et al. Discovery of a new fragrance allele and development of functional markers for identifying diverse fragrant genotypes in rice[J]. *Molecular Breeding*, 2014, 33:701-708.
- [68] OTSUKA K, TAKAHASHI I, TANAKA K, et al. Genetic polymorphisms in Japanese fragrant landraces and novel fragrant allele domesticated in northern Japan[J]. *Breeding Science*, 2014, 64:115-124.
- [69] HE Q, PARK Y J. Discovery of a novel fragrant allele and development of functional markers for fragrance in rice[J]. *Molecular Breeding*, 2015, 35(11):217.
- [70] 曾跃辉, 韦新宇, 黄建鸿, 等. 不同来源特种稻香味和黑色种皮基因的鉴定与遗传特性分析[J]. *植物遗传资源学报*, 2021, 22(4):951-962.
- [71] 雷振山, 武浩, 卫云飞, 等. 豫南稻区特种稻主要农艺性状及矿物质元素含量分析[J]. *河南农业大学学报*, 2021, 55(2):243-249, 256.
- [72] 彭波, 孔冬艳, 庞瑞华, 等. 豫南香稻品种 *Badh2* 基因功能标记的检测及应用[J]. *西南农业学报*, 2017, 30(8):1693-1699.
- [73] 王丰, 李金华, 柳武革, 等. 一种水稻香味基因功能标记的开发[J]. *中国水稻科学*, 2008, 22(4):347-352.
- [74] 姜达, 卢小勇, 王延春, 等. 27 种香稻品种 *badh2* 突变位点序列的分析[J]. *分子植物育种*, 2015, 13(2):276-280.
- [75] 袁小珍, 杨波, 刘洁, 等. 优质香型籼稻不育系玉龙 1A 的选育与应用[J]. *杂交水稻*, 2023, 38(4):59-62.
- [76] 陈远孟, 张向军, 陈传华. 香稻的发展现状与研究进展[J]. *广西农业科学*, 2007, 38(6):597-600.
- [77] 胡培松, 唐绍清, 顾海华, 等. 水稻香味的遗传研究与育种利用[J]. *中国稻米*, 2006, 12(6):1-5.
- [78] 陈传华, 李虎, 刘广林, 等. 广西香稻育种现状及发展策略[J]. *中国稻米*, 2017, 23(6):117-120.
- [79] 李庆臻. 科学技术方法大辞典[M]. 北京: 科学出版社, 1999.
- [80] 赵正洪, 胡文彬, 汪丽, 等. 湖南省优质稻研发的历程、问题与展望[J]. *中国稻米*, 2022, 28(5):117-123.
- [81] 王丰, 柳武革, 刘迪林, 等. 广东优质稻发展及稻米品牌建设与展望[J]. *中国稻米*, 2021, 27(4):107-116.
- [82] 潘孝武, 闵军, 盛新年, 等. 长粒香型优质常规稻新品种松雅 77 的选育与应用[J]. *中国稻米*, 2024, 30(5):123-125.
- [83] 郑蓉, 倪品, 吴陵松, 等. 高档优质香稻华夏香丝的选育与推广[J]. *中国种业*, 2023(3):109-111.
- [84] 卢颖萍, 韦荣维, 苏小苗, 等. 优质香稻品种柳农丝苗的选育与应用[J]. *中国种业*, 2023(4):84-87.
- [85] 何秀英, 刘维, 陆展华, 等. 优质丰产香稻新品种粤香 430 的选育及应用[J]. *中国稻米*, 2023, 29(2):108-110.
- [86] 江青山, 林纲, 赵德明, 等. 优质香稻不育系宜香 1A 的选育与利用[J]. *杂交水稻*, 2008, 23(2):11-14.
- [87] 富昊伟, 薛庆中. 优质不育系嘉浙 A 的选育与应用[J]. *浙江大学学报(农业与生命科学版)*, 2001, 27(5):500-502.
- [88] 牟同敏. 中国两系法杂交水稻研究进展和展望[J]. *科学通报*, 2016, 61(35):3761-3769.
- [89] 谭永明, 欧阳祺, 王雪梅, 等. 香型高异交率水稻两用核不育系宸 6S 的选育与应用[J]. *杂交水稻*, 2023, 38(4):48-51.
- [90] 蔡星星, 王欢, 张盛, 等. 优质香型水稻两系不育系黄香占 S 的选育[J]. *杂交水稻*, 2024, 39(3):70-72.
- [91] 李杰, 赵雪, 权循光, 等. 香型中籼杂交水稻永两优 206 品种选育及高产栽培技术[J]. *安徽农学通报*, 2024, 30(17):6-9.
- [92] 章万东, 吕凯. 优质丰产早熟中籼新品种“原谷珍香”的选育与应用[J]. *园艺与种苗*, 2020, 40(8):46-47.
- [93] 梅建虎, 王伍梅, 章万东, 等. 全香型优质高产杂交水稻新组合太两优珍香的选育[J]. *杂交水稻*, 2024, 39(2):65-67.
- [94] 罗炜强, 陈睿, 周敏, 等. 优质香稻不育系智谷 A 的选育与应用[J]. *福建稻麦科技*, 2023, 41(4):1-5.
- [95] 陈虹, 雷建国, 侯桂花, 等. 优质香型三系不育系元香 A 的选育[J]. *杂交水稻*, 2024, 39(3):72-75.
- [96] 肖建平, 郝明, 刘芬, 等. 籼型三系香稻不育系悠香 123A 选育与应用[J]. *杂交水稻*, 2023, 38(5):35-37.
- [97] 黄富, 林纲, 岳元文, 等. 水稻新品种宜香优 2115 的特征特性及高产栽培技术[J]. *四川农业科技*, 2012(7):14.
- [98] 胡承伟, 李洪胜, 李继辉, 等. 优质抗稻瘟病杂交中稻宜香优 62 高产制种技术[J]. *种子*, 2017, 36(2):127-128.
- [99] 王峰, 韩冬, 李恒进, 等. 优质高产杂交香稻新组合宜优 727 的选育与应用[J]. *大麦与谷类科学*, 2021, 38(4):50-52.
- [100] 张杰, 邹相宏, 廖宗永, 等. 优质香型水稻三系不育系酒都 A 的选育与应用[J]. *杂交水稻*, 2024, 39(3):82-85.
- [101] 张志雄, 张志勇, 向跃武, 等. 具橙红色颖壳标记性状的优质香稻不育系花香 A 的选育与利用[J]. *杂交水稻*, 2009, 24(6):15-16, 44.
- [102] 佚名. 蒂香优 966[EB/OL]. [2024-10-01]. [https://www.chinaseed114.com/seed/19/seed\\_90622.htm](https://www.chinaseed114.com/seed/19/seed_90622.htm).



- [103] 易小林, 陈华文, 杨经良, 等. 优质长粒全香型杂交水稻新组合蒂香优 166 的选育[J]. 杂交水稻, 2024, 39(4): 68-71.
- [104] 朱永生, 魏毅东, 李齐向, 等. 香型优质高产杂交稻新品种野香优 669 的选育与应用[J]. 福建农业学报, 2024, 39(1): 25-32.
- [105] SAIHUA C, JUAN W, YI Y, et al. The *fgr* gene responsible for rice fragrance was restricted within 69 kb [J]. Plant Science, 2006, 171(4): 505-514.
- [106] 李孝琼, 陈颖, 韦宇, 等. 分子标记辅助选育抗褐飞虱和抗稻瘟病的水稻恢复系[J]. 西南农业学报, 2019, 32(5): 952-958.
- [107] 李孝琼, 韦宇, 陈炜坚, 等. 利用分子标记辅助育种技术进行优质香稻新品种‘那谷香’的培育[J]. 分子植物育种, 2023, 21(19): 6422-6428.
- [108] 李虎, 刘广林, 吴子帅, 等. 利用分子标记辅助选育优质香稻新品种‘桂香 99’[J]. 分子植物育种, 2023, 21(2): 510-516.
- [109] 李景芳, 温舒越, 赵利君, 等. 基于 CRISPR/Cas9 技术创制耐盐香稻[J]. 中国水稻科学, 2023, 37(5): 478-485.
- [110] 闫影, 诸光明, 张丽霞, 等. 水稻香味基因分子标记的开发及应用[J]. 西北植物学报, 2015, 35(2): 269-274.
- [111] 应兴华, 徐霞, 陈铭学, 等. 气相色谱-质谱技术分析香稻特征化合物 2-乙酰基吡咯啉[J]. 色谱, 2010, 28(8): 782-785.
- [112] 李荣田, 刘长华, 刘志富. 水稻香味性状简便快速检测方法: CN105259315B[P]. 2017-10-13.
- [113] 张江丽, 李苏洁, 李娟, 等. 不同来源水稻种质资源香味基因 *badh2* 位点的鉴定[J]. 分子植物育种, 2015, 13(4): 727-733.
- [114] SOOD B, SIDDIQ E. A rapid technique for scent determination in rice[J]. Indian Journal of Genetics Plant Breeding, 1978, 38(2): 268-271.
- [115] 王宝兴, 姜浩, 朱瑜, 等. 特种稻的研究及其开发[J]. 延边农学院学报, 1996, 18(2): 118-120.

(责任编辑: 徐 艳)