

## “粮食加工与风味形成” 特约专栏文章之五

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2021.01.005

梁奕, 庄海宁, 冯涛, 等. 大米及其衍生食品风味物质的研究进展[J]. 粮油食品科技, 2021, 29(1): 41-49.

LIANG Y, ZHUANG H N, FENG T, et al. Research progress on flavor substances of rice and its derivatives[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2021, 29(1): 41-49.

# 大米及其衍生食品风味物质的研究进展

梁奕<sup>1</sup>, 庄海宁<sup>2</sup>, 冯涛<sup>1</sup>✉, 姚凌云<sup>1</sup>

(1. 上海应用技术大学 香料香精技术与工程学院, 上海 201418;

2. 上海市农业科学院 食用菌研究所, 上海 201403)

**摘要:** 大米作为我国主要成品粮, 风味及品质备受关注。不同品种和产地的大米, 具有其独特的风味。对比目前提取大米风味物质的方法(溶剂萃取法、同时蒸馏法、固相微萃取法、吹扫捕集法、超临界萃取法等); 探讨大米风味物质的产生机制, 不同稻谷品种、生长环境、储存条件、直链淀粉含量、蒸煮方法、浸泡时间等都会对大米风味产生影响, 目前尚未明确挥发性物质与香气的关系, 但普遍认为 2-AP 是区别香型和非香型大米的标志性物质; 阐述一些大米衍生食品的风味物质、加工方式及其产生机制等。为大米风味物质的回收及应用提供一定参考及理论基础。

**关键词:** 大米; 风味; 香气; 挥发性物质; 提取方法; 大米衍生食品

**中图分类号:** TS213.3   **文献标识码:** A   **文章编号:** 1007-7561(2021)01-0041-09

**网络首发时间:** 2020-12-28 16:07:20

**网络首发地址:** <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3863.TS.20201228.1332.004.html>

## Research Progress on Flavor Substances of Rice and Its Derivatives

LIANG Yi<sup>1</sup>, ZHUANG Hai-ning<sup>2</sup>, FENG Tao<sup>1</sup>✉, YAO Ling-yun<sup>1</sup>

(1. School of Perfume and Aroma Technology, Shanghai Institute of Technology, Shanghai 201418, China;

2. Institute of Edible Fungi of Shanghai Academy of Agricultural Science, Shanghai 201403, China)

**Abstract:** As the main grain product in China, the flavor and quality of rice have attracted much attention. Different varieties or different producing areas may give rice unique flavor. The current methods of extracting rice flavor compounds (SAFE, SDE, SPME, P&T, SFE, etc.) were compared. The mechanism of producing rice flavor substances was discussed. Different rice varieties, growth environment, storage conditions, amylose content, cooking method, soaking time and so on would affect rice flavor, but the relationship between volatile matter and aroma is still not clear. However, 2-AP is generally considered to be a marker to distinguish aromatic rice from non aromatic rice. At the same time, the flavor compounds,

**收稿日期:** 2020-11-15

**基金项目:** 河南省农业科学院杰出青年科技基金(2020JQ04); 河南省农业科学院科技创新创意项目(豫财科[2020]36号2060302); 河南省重大科技专项(151100111300)

**Supported by:** Outstanding Youth Science and Technology Fund of Henan Academy of Agricultural Sciences (No. 2020JQ04); Science and Technology Innovation Creative Project of Henan Academy of Agricultural Sciences (2060302, No. 36, [2020], YuCaiKe); Major Science and Technology Special Project of Henan Province (No. 151100111300)

**作者简介:** 梁奕, 女, 1997年出生, 在读研究生, 研究方向为食品风味化学。E-mail: idfshjccg@126.com.

**通讯作者:** 冯涛, 男, 1978年出生, 博士, 教授, 研究方向为淀粉科学与风味化学。E-mail: fengtao@sit.edu.cn.

processing methods, production mechanism and other thing of some rice derived foods were also listed. It provides a certain reference and theoretical basis for the recovery and application of rice flavor substances.

**Key words:** rice; flavor; aroma; volatile matter; extraction technology; rice derived foods

大米是全球 30 多亿人的主食<sup>[1]</sup>, 是我国最重要的口粮, 并且消费人群仍在扩大<sup>[2]</sup>。大米中复杂却又相互平衡的挥发性香气化合物, 赋予了大米独特的风味, 显著影响大米市售的价格、人们的消费方式及煮熟后能否被人们接受, 甚至喜爱, 从而食用。因此大米的风味是评价大米品质的主要因素之一<sup>[3]</sup>。因此, 本文将对大米及其衍生制品的风味物质进行综述。

### 1 大米的种类及特点

根据国家标准《GB/T 1354—2018 大米》, 按原料稻谷类型, 大米分为籼米、粳米、籼糯米、粳糯米四类。籼米 (milled long-grain nonglutinous rice), 米粒一般呈长椭圆形或细长形, 根据籼稻的收获季节, 可分为早籼米和晚籼米。粳米 (milled medium to short-grain nonglutinous rice), 米粒一般呈椭圆形, 也可根据收获季节分为早粳米和晚粳米。籼糯米和粳糯米都属于糯米 (milled waxy rice), 米粒呈乳白色, 不透明, 也有呈半透明状 (阴糯米), 粘性大。

早、中、晚稻对光照反应不同。早、中稻对光照反应不敏感, 在全年各个季节种植都能正常成熟; 晚稻对短日照很敏感, 严格要求在短日照条件下才能通过光照阶段, 抽穗结实。晚稻和野生稻很相似, 是由野生稻直接演变形成的基本型, 早、中稻是由晚稻在不同温光条件下分化形成的变异型。北方稻区的水稻一般属于早稻或中稻。为了提高产量, 以袁隆平先生等为代表的水稻育种专家审视了过去的育种成就和目前水稻品种和水稻生产存在的问题, 结合我国的具体情况, 对水稻株型进行了重新设计, 开发出杂交水稻、新型水稻、超级水稻。截至 2020 年, 经农业部 (<http://www.ricedata.cn/variety/superice.htm>) 确认, 冠名超级稻的水稻品种共 133 种。

说起一碗好米饭, 人们不约而同会想到黑龙江的“五常大米”。据黑龙江农业信息网统计, 至 2018 年, “五常大米”这个大米类全国第一品牌, 品牌价值已达 639 亿元, 更是首批中国地理标志保护产品<sup>[4]</sup>, 备受人们喜爱。表 1 还统计了我国其他一些作为地理标志产品的大米, 图 1 显示了

表 1 地理标志产品大米  
Table 1 Product of geographical indication (rice)

地理标志产品	代表品种	水稻生长季节	地理位置	气候	地域特点	大米风味
五常大米 <sup>[5]</sup>	五优稻 (稻花香)、松粳系列等	4-9 月	黑龙江省南部, 是黑龙江、吉林两省结合部。东经 126°33'-128°14' 北纬 44°04'-45°26'	中温带大陆性气候	三面环山, 开口朝西的盆地, 东南部山脉挡住了东南风, 而西部松嫩平原的暖流可直接进入盆地内回旋。土壤以沙壤土和草甸土为主, 光照充沛, 水系纵横。	米粒饱满、质地坚硬。饭粒油亮、香味浓郁, 支链淀粉含量高。
方正大米 <sup>[6]</sup>	垦稻 10 号、绥粳 4 号等	4-9 月	黑龙江省哈尔滨市中东大部, 松花江中游南岸, 场边山支脉张广才岭北段西北麓。东经 128°14'-129°33' 北纬 45°33'-46°09'	寒温带大陆性季风气候	“马蹄形”地貌: 平原三面环山, 一面临江, 素有“八山半水一分半田”之称。秋季日照强, 昼夜温差大, 加之水资源充沛, 自然水灌溉, 水温高草甸化白浆土、草甸土域山地土三面环山。	米粒半透明, 色泽清白有光泽, 蒸煮时有特有的清水香味, 口感绵软略粘, 香甜, 饭粒洁白表面有油光, 冷后仍能保持良好的口感。
乌兰浩特大米 <sup>[7]</sup>	兴育 131 等粳型常规水稻	4-10 月	内蒙古自治区兴安盟乌兰浩特市。东经 121°5'-122°20' 北纬 45°55'-46°18'	中温带半干旱大陆性季风气候区	草甸土、黑钙土、栗钙土为水稻种植提供了 pH 值为 7.0 的肥沃土壤, 排灌方便。四季分明, 降水集中, 雨热同季。无霜期较短, 日照充足, 地温高、温差大、降水量偏少, 蒸发量大。	丰润光滑, 晶莹剔透, 软糯清甜, 飘香四溢。

续表 1

地理标志产品	代表品种	水稻生长季节	地理位置	气候	地域特点	大米风味
盘锦大米 <sup>[8]</sup>	辽粳系列等	5-10 月	辽宁省中南部,东北松辽平原南端。 东经 121°25'-122°30' 北纬 40°29'-41°27'	暖温带大陆性半湿润季风气候	多水无山,属退海冲积平原,地势平坦,土壤为滨海盐渍型水稻土,气候四季分明,水稻生产季节热量资源丰富,雨热同季,日照充足。	米质半透明,色泽青白,晶莹剔透、带自然清香味。米饭柔软润滑、清香适口,弹性糯性俱佳,糊化温度低、胶稠度高。
原阳大米 <sup>[9]</sup>	豫粳 6 号优系、黄金晴等	4-9 月	河南省新乡市原阳县,位于华北平原南端,黄河北岸。 东经 113°21'-114°09' 北纬 34°33'-35°06'	暖温带大陆性半湿润季风气候	地势平坦,特殊的黄河沉积土,盐碱化潮湿土。气候四季分明,水稻生长季节热量丰富,雨热同季,日照充足,背风向阳,水源方便。	米质半透明有光泽,晶莹剔透或微黄。蒸饭开锅清香,饭粒软而不粘,有韧性、适口性好,凉后不硬。
松江大米 <sup>[10]</sup>	松早香 1 号、松香粳 1018 秀水 134、秋优金丰等	早 5-9 月 晚 5-11 月 杂交 5-11 月	上海市西南部,位于黄浦江上游,太湖流域碟形洼地的底部。 东经 120°52'-122°12' 北纬 30°40'-31°53'	亚热带季风气候	土质呈弱酸性,土层深厚,富含有机质,四季分明,雨量充沛,湖泊众多,水系发达,光照充足,植被茂密。	米粒饱满、晶莹半透明、米饭柔软有弹性、食味清甜、表面油光。
察隅大米 <sup>[11]</sup>	籼稻品种	3-10 月	西藏自治区林芝市察隅县,青藏高原东南边缘的喜马拉雅山与横断山脉交接的河谷地带。 东经 95°41'-98°45' 北纬 27°44'-29°33'	亚热带湿润气候	土壤类型为黄棕壤和黄壤、质地为沙质粘壤土、砂质壤土常年四季温和、降水充沛、日照充足、无霜期长。	晶莹透亮、营养丰富、香味浓郁。
罗浮山大米 <sup>[12]</sup>	籼稻品种	早 3-7 月 晚 7-11 月	广东省博罗县罗浮山,雄峙于岭南中南部,坐临南海大亚湾,毗邻惠州西湖。 东经 113°51'-114°03' 北纬 23°13'-23°20'	南亚热带季风气候	气候温暖,光照充足,雨水充沛。水稻土壤土,有机质≥2%, pH5.5~7.0。	米粒整齐匀称、色泽洁白鲜亮,米饭油亮、香润粘滑,冷却后不再生,米粒细长苗条、米泛丝光,口味清香,柔滑爽口,营养丰富。



图 1 地理标志产品大米的位置

**Fig.1 The location of geographical indication product (rice)**  
 注: 原地图来自自然资源部标准地图服务系统 (<http://bzdt.ch.mnr.gov.cn/>)。

其在中国的地理位置。

## 2 大米风味物质的提取方法

稻米的香味可分为食味香味和气味香味两类,主要挥发性成分有烃类、芳烃类、醛类、酮

类、酯类、酸类、醇类、烯及烯醇类、杂环化合物等<sup>[13]</sup>。由于大米的香气成分大多存在于碳水化合物、脂肪、蛋白质、盐和水,因此需要特定的提取方法来对大米发风味物质进行分析。近几十年来,提取大米香气的样品前处理方法主要有以下几种。

### 2.1 溶剂辅助风味蒸发法

溶剂辅助风味蒸发法 (solvent-assisted flavor evaporation, SAFE),是在低温、高真空度下,利用挥发性物质在两相中分配系数的不同,通过相似相溶的原理进行蒸馏,馏出液通过液氮冷冻收集。常用于除去溶剂萃取所得萃取物中含高沸点或难挥发性的成分<sup>[14]</sup>。

### 2.2 同时蒸馏萃取

同时蒸馏萃取 (Simultaneous distillation extraction, SDE),首次由 Likens 和 Nickerson<sup>[15]</sup>于 1964 年提出,因此也被称作 Likens-Nickerson

水蒸气蒸馏。其工作原理是，分别放置的样品与萃取溶剂同时加热，两者蒸气在一定的装置中充分混合，冷凝后香气成分被溶剂萃取，实现组分的相转移。彭智辅等<sup>[16]</sup>采用该方法分析出 101 种大米香气成分物质，除酸以外含量较高的有正己醇（1.053%）、己醛（2.354%）、4-乙基愈创木酚（2.290%）等；而利用固相微萃取法只提取出 31 种大米香气成分物质。因此 SDE 技术被公认为是一种能全面提取食品中挥发性化合物的方法<sup>[17]</sup>。

### 2.3 固相微萃取

固相微萃取（Solid phase micro extraction, SPME），集采集、萃取、浓缩和进样于一体。萃取头上的熔融石英纤维外面存在色素固定相，在试验样本中萃取出目标组分，让它们两者基于分析物扩散，是目前国际上比较流行的检测微量挥发性/半挥发性有机物的方法。胡翠英等<sup>[18]</sup>曾运用全氟磺酸型聚合物溶液（Nafion）和聚二甲基二烯丙基氯化铵（PDDAC）修饰点样毛细管，研究了该修饰头对大米中 2-乙酰基-1-吡咯啉（2-AP）的吸附作用。

### 2.4 顶空固相微萃取

近年来，在 SPME 的基础上，研究人员开发了一种快速、灵敏、准确的香气挥发性成分分析方法——顶空固相微萃取（Headspace-solid phase

micro Extraction, HS-SPME），此方法是利用萃取头对顶空瓶中达到热力学平衡的挥发气体进行萃取。Widiastuti 等<sup>[19]</sup>利用该法检测出 51 种大米挥发性化合物，并进行主成分分析，生成了 8 种区分香米与非香米的关键标记挥发性化合物（即戊醛、己醛、2-戊基呋喃、2,4-壬二烯醛、吡啶、1-辛烯-3-醇、2-辛烯和反-2-辛烯）。黄亚伟等<sup>[4]</sup>利用 HS-SPME-GC/MS 对新收获的五常大米（粳米（香米和非香米）、糯米）的气味进行了分析比较；结果表明，除烷烃外，3,5-二甲基己醇、十一醛、丙烯酸-2-乙基己酯、二十四醇和正壬醇只在香米中检测出。而在普通粳米中，直链烷烃为其主导的挥发性物质，只检测出较少的醛酮酸酯类挥发性化合物。2-庚烯-4-醇、己酸乙基酯、3-壬烯-2-酮和(Z)-氧代环十七碳-8-烯-2-酮在其他类别的大米中没有检测到，被认为是构成五常糯米风味的特异性物质。

### 2.5 吹扫捕集法

吹扫捕集法（Purge and Trap, P&T），也被称为动态顶空技术，是一种新型的样品分离净化方法。以惰性气体为载气，将挥发性物质从样品中输送出来，并被捕获在固体吸附剂中。目前，其与 GC 或 GC/MS 等仪器联用，已被广泛应用于水体、土壤和种子等样品中有机污染物的分析。李永亮等<sup>[20]</sup>曾用 P&T-GC 法测定了水稻田土壤中的

表 2 大米风味物质的提取方法

Table 2 The extraction methods of rice flavor compounds

提取方法	精确度 RSD/%	检测限	耗时	费用	优点	缺点
溶剂辅助风味蒸发法 (SAFE)	3~20	10 <sup>-9</sup>	短	低	操作简单、分离效果好,相对温和,萃取溶剂使得香气物质的损失,有机萃取剂毒性会对环境且一般被认为提取的香味更接近真实样品。	对挥发性风味化合物的破坏较小,造成污染。
同时蒸馏萃取法(SDE)	3~20	10 <sup>-12</sup>	中	高	蒸馏萃取过程连续、循环进行,故只需少量溶剂便可提取大量样品。	使用的消泡剂可能会引入有机硅污染物。处理时高温加热可能会使样品的风味物质被破坏 <sup>[23]</sup> 。
固相微萃取法(SPME)	1~12	10 <sup>-12</sup>	短	低	高灵敏度,分析时间短、操作简便、基本不需要溶剂、环境污染小、样品用量较少 <sup>[24]</sup> 。	无法检测含硫和硫醚类化合物。
吹扫捕集法(P&T)	1~13	10 <sup>-9</sup>	长	高	分离时间较短,效果相对较优越,大多数样品不需要前处理即可进行分离净化,避免了柱分离时有机溶剂挥发对人体产生的影响 <sup>[25]</sup> 。	易形成泡沫,使仪器超载。水蒸气的吹出,不利于下一步的吸附,对火焰类检测器也具有淬灭作用。

敌稗。Wang 等<sup>[21]</sup>曾用 P&T-GC/MS 法测定大米中的己醛。

## 2.6 超临界萃取法

超临界流体萃取法 (Supercritical fluid extraction, SFE), 是以超临界流体为萃取剂, 从样品基质中分离出单一挥发性物质的过程。与有机溶剂相比, 这些超临界流体更清洁、更安全。二氧化碳 (CO<sub>2</sub>) 是常用的超临界流体之一。此法的萃取和分离效果好, 但操作复杂且器材的运行成本较高。

因此, 对于任一种样品的分析, 应该根据其特点选择最适的前处理方法, 在条件允许的情况下尽可能多种前处理方法结合使用, 这样才能使得到的结果具有更高的准确性<sup>[22]</sup>。

## 3 大米风味物质的产生机制及影响因素

由 Rothe 和 Thomas 提出的 OAV 值 (香气活性值, Odor Active Value) 是香气物质的浓度与其阈值的比值<sup>[21]</sup>。OAV 大于 1 的挥发性化合物被称为 OAC, 大米中的 OAC 主要由碳水化合物 (萜烯类、呋喃酮和派罗酮)、脂肪酸 (通过脂氧合酶 (LOX) 或  $\alpha$ -和  $\beta$ -氧化酶生成的醛和醇) 和氨基酸 (酸、醇、醛、酯、内酯, 以及含 N 和 S 的风味分子、苯类和苯丙烷类挥发性化合物) 形成<sup>[3]</sup>。羰基化合物可以产生原生的、浓郁的香味, 而挥发性醇产生较为柔和的气味, 酮类化合物的来源途径主要是多不饱和脂肪酸的氧化或热降解、氨基酸降解或微生物氧化, 其通常具有特殊的香气, 多数为清香气味 (有花香和果香), 香味优异持久<sup>[26]</sup>。苗菁等<sup>[27]</sup>采用 SPME 与 SDE 方法对米饭中的风味物质进行 GC/MS 分析, 综合发现, 2-AP、香草醛、1-辛烯-3-醇、壬醛、4-乙基苯酚、4-乙基愈创木酚、己醛、辛醛、庚醛、戊醛等物质会对米饭整体风味轮廓起到关键作用。

水稻的香味是由多种挥发物混合控制, 在所有水稻品种中, 2-AP 被认为是稻米香气的主要成分<sup>[28]</sup>。不同种类大米的米饭挥发性成分各有不同, 蒸饭中对乙基愈创木酚的含量为籼米>粳米>籼糯米>粳糯米, 且籼米中的该物质含量与其它种类大米具有显著性差异 ( $P<0.05$ )。而粳糯米饭中的 2-戊基呋喃和吡啶的含量高于其他 3 种大

米<sup>[29]</sup>。

环境因素 (如土壤类型、栽培措施、籽粒灌浆期的温度、储存条件和储存时间等<sup>[30-31]</sup>) 在决定大米香气方面起着重要作用, 因此适宜的气候条件是香气正常形成所必需。刘瑶<sup>[12]</sup>用 HS-SPME 发现了泰国香米和五常大米的香气成分的区别, 泰国香米共测定出 91 种香气成分, 酯类化合物、羧酸类化合物及酚类化合物含量最少; 2-庚酮、4-乙基愈创木酚、苯甲醛等含量较高。而用同样方法提取的五常大米香气成分物质共 68 种, 酚类化合物和酯类化合物含量最少, 苯酚和苯并噻唑含量较高。

不同的储存条件会导致大米的风味差异。棕榈酸甲酯、2-甲基丙酸和 3-羟基-2,2,4-三甲基戊酯等成分的增加, 会导致大米风味变差。特别是在高温存储下, 醛、酮和呋喃等挥发性化合物增加, 这是存储期间香米质量下降的重要原因。己醛、壬醛、苯甲醛、十六烷酸和甲酯被确定为新鲜香米中的香气活性化合物<sup>[32]</sup>。

大米蒸煮是一个糊化的过程: 淀粉受热后吸水膨胀, 从细胞壁中释放出来, 破坏之前的晶体结构, 并形成凝胶, 米饭中淀粉的差异可以影响香气化合物的挥发。直链淀粉可以与多种香气化合物配体形成复合物。Ma 等<sup>[33]</sup>对五个芳香化合物 (己醛、1-辛烯-3-醇、 $\gamma$ -癸内酯、2-AP、2,3-丁二酮) 与直链淀粉的关系研究中发现, 除 2,3-丁二酮外, 其余四种香气成分都可以与直链淀粉发生了相互作用, 形成 V 型晶体络合物, 证实了直链淀粉对香气释放的影响。

蒸煮方法对米饭的挥发性风味物质也有一定影响。刘敬科等<sup>[34]</sup>对比了常压蒸煮、高压蒸煮和压力无沸腾蒸煮 3 种方法获得的米饭挥发性成分, 常压蒸煮的米饭中含有较多中长链和长链的挥发性成分, 以醛、醇、酮、酯为主; 高压蒸煮的米饭中含有较多中长链、长链以及少量短链的挥发性成分, 以醛、醇、酯为主; 压力无沸腾蒸煮的米饭中含有大量中长链及少量短链和长链的挥发性成分, 以醛、醇为主。压力无沸腾蒸煮的米饭产生的挥发性成分的种类和含量高于常压蒸煮和高压蒸煮。

大米在蒸煮之前需要浸泡, 其目的是为了

米粒吸水膨胀, 胚乳中的淀粉体内外会出现细小的裂纹, 便于内部淀粉吸收水分及加热时的均一糊化<sup>[35]</sup>。有学者<sup>[28,36]</sup>对不同浸泡程度的米饭进行了挥发性风味成分分析研究, 米饭风味的主要贡献物质是各类非烃类挥发性成分, 不浸泡米饭中各类非烃类风味物质的相对质量分数均比浸泡米饭显著提高, 这表明预浸泡处理会对米饭的风味产生较大影响。

#### 4 大米衍生食品的风味物质及产生机制

大米衍生食品众多, 风味各异, 在此选择几款介绍, 见图 2。



图 2 大米衍生食品

Fig.2 Some rice derived foods

发酵米糕一般简称为米发糕, 多是以精白米(粳型或梗型)为主要原料, 以乳酸菌和酵母为发酵剂, 经选料、浸泡、磨浆、发酵、调味和蒸糕等工序制备而成。乳酸菌代谢单糖和二糖, 产生  $\text{CO}_2$ , 使米糕内部形成孔状疏松结构, 同时产生乳酸, 降低发酵液 pH, 抑制其他微生物生长, 防止腐败<sup>[37]</sup>, 并赋予发酵米糕独特的风味。酵母形态简单, 生长速度快, 代谢周期短, 代谢产物种类多, 能发酵蔗糖、葡萄糖、麦芽糖等寡糖, 产生酒精及  $\text{CO}_2$ , 赋予米发糕独特的酒香味和松软的质构。仰思颖<sup>[38]</sup>研究了上述单一菌种与混菌发酵, 发现混菌发酵糙米糕风味更加丰富, 味道更好, GC-MS 分析出其风味物质多出 6 种。在其他米发糕的挥发性风味物质研究中<sup>[39-41]</sup>, 也均检出一定量的苯乙醇, 可见苯乙醇是各类米发糕中共有的特征挥发性风味物质。

米酒是以大米淀粉作为碳源利用酒曲或酵母

发酵成的低度酒精饮品, 其酿造工艺简单, 酿造周期短, 成品米酒经过滤、澄清处理后可直接饮用。米酒中香气物质一部分来源于原料自身, 另一部分则来自发酵过程中酵母代谢产生的高级醇类、酯类、有机酸类和醛酮类物质。姚远<sup>[42]</sup>对比了桑葚米酒澄清前后的风味物质, 澄清后桑葚米酒中风味物质数量较澄清前有所减少(从 49 种减少到 38 种), 但作为酒类主要呈香物质的酯类和醇类物质基本被保留, 烃类等对米酒香气无明显贡献的挥发性物质减少, 对米酒风味有重要贡献的关键风味物质的相对含量有所上升, 如乙酸异戊酯可以赋予酒类新鲜果香和苹果样的香气, 苯乙醇赋予其玫瑰花香, 且芳香醇类香气阈值很低, OAV 值很高, 是形成酒类特殊风味的重要香气物质。

凝固型大米风味酸奶使用大米蛋白或大米蛋白水解物部分替代牛乳粉, 以谷糠乳杆菌和乳酸乳球菌乳酸亚种为发酵菌种。万红霞<sup>[43]</sup>研究了大米蛋白及其水解物添加量、大米蛋白水解度、乳糖补加及蔗糖添加研究对大米风味酸奶酸度和感官的影响, 当大米蛋白及其水解物添加量 7.5%, 大米蛋白水解度 40% 以下, 蔗糖添加量 4%~6% 时, 大米风味酸奶的感官得分最高, 表现为色泽均匀, 质地较细腻, 未见乳清析出, 凝乳稳定, 口感较细腻柔滑, 酸甜度适中, 米香风味浓郁。

大米经过现代生物工程技术加工, 同时添加牛奶、蜂蜜等可以加工成各种风味米汁饮料, 具备了营养丰富、食用方便的特点。李长见<sup>[44]</sup>通过 SPME-GC-MS 对其制备的米汁饮料进行挥发性物质分析, 酶解后米汁得到 21 种不同的风味物质, 大多是醇类、醛类、酮类、酯类、及呋喃类等, 其中醛类物质种类最多, 其次是酮类物质。大部分物质具有水果香气, 2-戊基呋喃具有蔬菜香气, 壬醛、2-辛烯醛和庚醛具有油脂气味, (Z)-2-庚烯醛和 2,3-辛二酮具有奶油香气。

米粉又称米线、米面条、米粉丝, 是以稻米为主要原料, 经多道工序加工而成的条状米制品。直链淀粉含量相对较高, 吸水率、胶稠度和碱消值较低的大米品种更适合作为生产鲜湿米线的原料用米<sup>[45]</sup>。原料大米直链淀粉与支链淀粉含量比值较大时, 米线口感较硬, 易断条; 其值较小时,

粉团黏性大, 难成型, 易断条。大米的蛋白质、脂肪等一些基础成分也会对米粉的蒸煮特性产生一定的影响<sup>[45]</sup>。

## 5 结论与展望

大米风味会影响其售价及人们的接受度, 其香味和风味是大量挥发性和半挥发性化合物的结果, 目前在水稻品种中已经发现了 250 多种挥发性和半挥发性化合物, 然而, 还没有发现这些化合物与香气是否存在显著关系。2-AP 是区别香型大米和非香型的标志性物质, 其具有爆米花般的香味, 已被 Buttery<sup>[27]</sup>等确定为赋予大米天然香味的主要化合物。

溶剂萃取法、蒸馏法、固相微萃取、吹扫捕集、超临界萃取法等香气提取方法结合气相色谱-质谱法 (GC-MS)、气相色谱-嗅觉仪 (GC-O)、气相色谱-火焰离子化检测器 (GC-FID)、气相色谱-脉冲火焰光度检测法 (GC-PFPD) 等检测方法被广泛应用于香气研究中, 传统方法需要消耗大量的溶剂和时间, 还会造成环境问题, 增加操作成本。现代新技术在溶剂消耗、提取时间、收率和重现性方面具有优势, 但成本较高, 且很少有像超临界流体萃取这样在工业水平运用, 所以对现代和新型提取技术的探索, 以及其在未来大米产业领域的创新战略发展, 有待于进一步研究。

大米中的香气成分主要由碳水化合物、脂肪酸和氨基酸等合成。碳水化合物可以产生原生的、浓郁的香味, 而挥发性醇产生较为柔和的气味, 多数的酮类物质具有清香气味 (有花香和果香), 且香味优异持久。不同水稻品种、生长环境、储存条件、直链淀粉含量、蒸煮方法、浸泡时间等都会对大米风味产生影响。

大米衍生食品的风味物质很多, 如米糕、米酒、米线、米汁及具有大米风味的各种食品, 通常需要经过发酵或酶解, 以产生更多品种和含量的香气物质。各种新型食品层出不穷, 但大多是从大米本身及食物原材料入手, 如研发各种杂交水稻, 发酵酶解和各式材料组合开发, 却很少有将其风味物质提取回收后, 运用于大米或大米风味衍生食品中来, 也少有大米香精类产品, 因此仍需要进一步研究。

## 参考文献:

- [1] CHEN Q, HE A, WANG W, et al. Comparisons of regeneration rate and yields performance between inbred and hybrid rice cultivars in a direct seeding rice-ratoon rice system in central China[J]. *Field Crops Research*, 2018, 223: 1-7.
- [2] 谢天, 程科, 施光远. 大米新国标发布: 突出适度加工和产业升级[J]. *中国食品*, 2018, (21): 66-67.  
XIE T, CHEN K, SHI G Y. A new national standard for rice: focus on appropriate processing and industrial upgrading[J]. *China Food*, 2018, (21): 66-67.
- [3] DEEPAK K V, PREM P S. Science and technology of aroma, flavor, and fragrance in rice[M]. India: CRC Press, 2018.
- [4] 黄亚伟, 徐晋, 王若兰, 等. HS-SPME-GC-MS 对五常大米中挥发性成分分析[J]. *食品工业*, 2016, 37(4): 266-269.  
HUANG Y W, XU J, WANG R L, et al. Analysis on HS-SPME-GC-MS technology in volatile components of Wuchang rice[J]. *The Food Industry*, 2016, 37(4): 266-269.
- [5] 地理标志产品 五常大米: GB/T19266—2008[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.  
Product of geographical indication-Wuchang rice: GB/T19266—2008[S]. Beijing: Standards Press of China, 2008.
- [6] 地理标志产品 方正大米: GB/T20040—2005[S]. 北京: 中国标准出版社, 2005.  
Product of geographical indication- Fangzheng rice: GB/T20040—2005[S]. Beijing: Standards Press of China, 2005.
- [7] 地理标志产品 乌兰浩特大米: T/CAI001—2018[S]. 北京: 中国农业出版社, 2018.  
Product of geographical indication- Wulanhaote rice: T/CAI001—2018[S]. Beijing: China Agriculture Press, 2018.
- [8] 地理标志产品 盘锦大米: GB/T18824—2008[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.  
Product of geographical indication- Panjin rice: GB/T18824—2008[S]. Beijing: Standards Press of China, 2008.
- [9] 地理标志产品 原阳大米: GB/T 22438—2008[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.  
Product of geographical indication-Yuanyang rice: GB/T22438—2008[S]. Beijing: Standards Press of China, 2008.
- [10] 地理标志产品 松江大米: DB31/T 908—2015[S]. 上海: 上海市质量技术监督局, 2015.  
Product of geographical indication- Songjiang rice: DB31/T 908—2015[S]. Shanghai: Shanghai Municipal Bureau of Quality and technical supervision, 2015.
- [11] 地理标志产品 察隅大米: DB54/T 0161—2019[S]. 西藏: 西藏自治区市场监督管理局, 2019.  
Product of geographical indication- Chayu rice: DB54/T 0161—2019[S]. Xizang: Market Supervision Authority of Tibet Autonomous Region, 2019.

- [12] 地理标志产品 罗浮山大米: DB4413/T 7—2019[S]. 广东: 惠州市市场监督管理局, 2019.  
Product of geographical indication- Luofushan rice: DB4413/T 7—2019[S]. Guangdong: Huizhou Market Supervision Authority, 2019.
- [13] 刘瑶. 泰国香米和五常大米品质分析和特征性风味成分的研究[D]. 沈阳农业大学, 2018.  
LIU Y. Study on quality analysis and characteristic flavor components of Thai rice and Wuchang rice[D]. Shenyang Agricultural University, 2018.
- [14] ENGEL W, BAHR W, SCHIBEDE P. Solvent assisted flavor evaporation-a new and versatile technique for the careful and direct isolation of aroma compound from complex food matrices[J]. European Food Research Technology, 1999, 209: 237-241.
- [15] LIKENS S T, NICKERSON G B. Detection of certain hop oil constituents in brewing products[J]. Proceedings Annual meeting - American Society of Brewing Chemists, 1964, 22(1): 5-13.
- [16] 彭智辅, 李杨华, 练顺才, 等. 大米、糯米蒸煮香气成分的研究[J]. 酿酒科技, 2014, (12): 42-46.  
PENG Z F, LI Y H, LIAN S C, et al. Research on the flavoring compositions of rice and sticky rice by SDE and SPME[J]. Liquor-Making Science & Technology, 2014, (12): 42-46.
- [17] 安红梅, 尹建军, 张晓磊, 等. 同时蒸馏萃取技术在食品分析中的应用[J]. 食品研究与开发, 2011, 32(12): 216-220.  
AN H M, YIN J J, ZHANG X L, et al. Application of simultaneous distillation extraction in food analysis[J]. Food Research and Development, 2011, 32(12): 216-220.
- [18] 胡翠英, 朱勇良, 叶亚新, 等. Nafion/PDDAC 固相微萃取富集测定大米中 2-乙酰基吡咯啉[J]. 苏州科技学院学报(自然科学版), 2014, 31(4): 42-45+61.  
HU C Y, ZHU Y L, YE Y X, et al. Preconcentration and determination of 2-acetyl pyrrolidine in rice based on Nafion and PDDAC coated solid-phase microextraction[J]. Journal of Suzhou University of Science and Technology(Natural Science Edition), 2014, 31(4): 42-45+61.
- [19] WIDIASTUTI S, TOMASZ M, TOMASZ D, et al. Key-marker volatile compounds in aromatic rice (*Oryza sativa*) grains: An HS-SPME extraction method combined with GC×GC- TOFMS[J]. Molecules, 2019, 24(22).
- [20] 李永亮, 李健, 李桂莲, 等. 吹扫捕集-气相色谱法测定水稻田土壤中的敌稗[J]. 理化检验(化学分册), 2016, 52(9): 1073-1075.  
LI Y L, LI J, LI G L, et al. Determination of millet weeds in paddy soil by P&T-GC [J]. Physical Testing and Chemical Analysis(Part B: Chemical Analysis), 2016, 52(9): 1073-1075.
- [21] WANG Y, HA J. Determination of hexanal in rice using an automated dynamic Headspace sampler coupled to a Gas Chromatograph-Mass Spectrometer[J]. Journal of Chromatographic Science, 2013, 51(5).
- [22] 苏柯冉, 刘野, 何聪聪, 等. 三种萃取方法结合 GC-O-MS 分析香糟卤中挥发性香气成分[J]. 现代食品科技, 2015, 31(8): 340-347.  
SU K R, LIU Y, HE C C, et al. Comparative analysis of volatile aroma components of Xiangzaolu via the combination of three extraction Methods and Gas Chromatography-Olfactometry-Mass Spectrometry(GC-O-MS)[J]. Modern Food Science and Technology, 2015, 31(8): 340-347.
- [23] 谢建春. 现代香味分析技术及应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2008.  
XIE J C. Modern aroma analysis technology and its application[M]. Beijing: Chemical Industrial Press, 2008.
- [24] 孟凡生, 王业耀, 陈晶. 我国水环境有机物分析前处理技术[J]. 环境监测管理与技术, 2010, 22(4): 15-18.  
MENG F S, WANG Y Y, CHEN J. Pretreatment techniques for organic pollutants analysis of water environment in China[J]. The Administration and Technique of Environmental Monitoring, 2010, 22(4): 15-18.
- [25] 胡璟珂, 马健生, 沈加林, 等. 吹扫捕集-气相色谱-质谱法测定海岸带表层沉积物中挥发性有机物[J]. 理化检验(化学分册), 2012, 48(2): 165-168.  
HU J K, MA J S, SHEN J L, et al. GC-MS determination of volatile organic compounds in the surface sediments of coastal zone with Purge and Trap concentrator[J]. Physical Testing and Chemical Analysis(Part B: Chemical Analysis), 2012, 48(2): 165-168.
- [26] 张敏, 苗菁, 苏慧敏, 等. 不同品种稻米的米饭风味分析[J]. 食品科学, 2017, 38(16): 110-114.  
ZHANG M, MIAO J, SU H M, et al. Analysis of flavor compounds in different varieties of cooked rice[J]. Food Science, 2017, 38(16): 110 - 114
- [27] 苗菁, 苏慧敏, 张敏. 米饭中关键风味化合物的分析[J]. 食品科学, 2016, 37(2): 82-86.  
MIAO J, SU H M, ZHANG M. Analysis of the key flavor compounds in cooked rice[J]. Food Science, 2016, 37(2): 82-86.
- [28] BUTTERYR G, LING L C, JULIANO B O. Cooked rice aroma and 2-acetyl-1-pyrroline[J]. Agric. Food Chem. 1983, 31, 823-826.
- [29] 油卉丹. 不同种类大米黄酒酿造的差异性研究[D]. 江南大学, 2017.  
YOU H D. Characterization of the difference among Chinese rice wine brewed from different varieties of rice[D]. Jiangnan University, 2017.
- [30] 郑家奎. 香型杂交水稻的育种研究[D]. 重庆大学, 2004.  
ZHENG J K. Studies on breeding in aromatic hybrid rice (*Oryza sativa* L. )[D]. Chongqing University, 2004.

- [31] TANG T, LU J, HUANG J Z, et al. Genomic variation in rice: genesis of highly polymorphic linkage blocks during domestication[J]. *PLoS genetics*, 2006, 2(11).
- [32] ZHAO Q Y, YOUSAF L, XUE Y, et al. Changes in flavor of fragrant rice during storage under different conditions[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2020, 100(8).
- [33] MA R R, TIAN Y Q, ZHANG H H, et al. Interactions between rice amylose and aroma compounds and their effect on rice fragrance release[J]. *Food Chemistry*, 2019, 289.
- [34] 刘敬科, 郑理, 赵思明, 等. 蒸煮方法对米饭挥发性成分的影响[J]. *中国粮油学报*, 2007(5): 12-15.  
 LIU J K, ZHENG L, ZHAO S M, et al. Effect of cooking methods on volatile compounds of cooked rice[J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2007(5): 12-15.
- [35] 张玉荣, 周显青, 张秀华, 等. 大米蒸煮条件及蒸煮过程中米粒形态结构变化的研究[J]. *粮食与饲料工业*, 2008(10): 1-4.  
 ZHANG Y R, ZHOU X Q, ZHANG X H, et al. Studies on rice cooking conditions as well as its form and structure changes during cooking process[J]. *Cereal & Feed Industry*, 2008(10): 1-4.
- [36] 陈光耀, 焦爱权, 田耀旗, 等. 浸泡对米饭风味的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2010, 36(11): 40-43.  
 CHEN G Y, JIAO A Q, TIAN Y Q, et al. Effect of presoaking on the flavor of cooked rice[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2010, 36(11): 40-43.
- [37] 吴鹏. 米发糕发酵菌株筛选、发酵条件优化及香气成分研究[D]. 华中农业大学, 2009.  
 WU P. Research on screening and fermentation optimization of fermented bacterial strain of rice steamed sponge cake, analysis of aroma composition[D]. Huazhong Agriculture University, 2009.
- [38] 仰思颖. 发酵糙米糕工艺研究及品质改良[D]. 江南大学, 2017.  
 YANG S Y. Study on the process and quality improvement of fermented brown rice steam sponge cake[D]. Jiangnan University, 2017.
- [39] 文雅, 王玉芳, 赵思明, 等. 优势微生物组成对米发糕品质的影响[J]. *中国粮油学报*, 2016, 31(6): 1-5.  
 WEN Y, WANG Y F, ZHAO S M. Effects of advantaged microbial bacteria combination on the quality of fermented rice cake[J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2016, 31(6): 1-5.
- [40] 陈芳溶. 米发糕储藏保鲜技术与风味分析[D]. 华中农业大学, 2011.  
 CHEN F R. Preservation technology and flavor analysis of fermented rice cake[D]. Huazhong Agriculture University, 2011.
- [41] 梁言. 乳杆菌与酵母发酵籼米粉浆及制备米发糕的研究[D]. 华南理工大学, 2019.  
 LIANG Y. Study on the fermentation of indica rice flour slurry by lactobacillus and yeast and the preparation of fermented rice cake[D]. South China University of Technology, 2019.
- [42] 姚远. 桑葚米酒发酵工艺的优化及对香气形成的影响[D]. 安徽工程大学, 2019.  
 YAO Y. Optimization of fermentation technology of mulbeny rice wine and its effect on aroma formation[D]. Anhui Polytechnic University, 2019.
- [43] 万红霞, 孙海燕, 刘冬. 凝固型大米风味酸奶的研制[J]. *广州城市职业学院学报*, 2020, 14(1): 77-83.  
 WAN H X, SUN H Y, LIU D. Development of solidified rice flavor yogurt[J]. *Journal of Guangzhou City Polytechnic*, 2020, 14(1): 77-83.
- [44] 李长见. 米汁饮料的研制[D]. 山东农业大学, 2018.  
 LI C J. Development of cereal beverages[D]. Shandong Agriculture University, 2018.
- [45] 王晓彬. 云南开远鲜湿米线品质变化及控制技术研究[D]. 天津科技大学, 2019.  
 WANG X B. Study on quality change and control technology of Yunnan Kaiyuan fresh rice noodle[D]. Tianjin University of Science & Technology, 2019.
- [46] 张星灿, 白菊红, 康建平, 等. 四川地方大米品种特性对方便米粉品质的影响[J]. *粮油食品科技*, 2019, 27(3): 9-14.  
 ZHANG X C, BAI J H, KANG J P, et al. Effect of variety characteristics of Sichuan local rice on the quality of instant rice noodle[J]. *Science and Technology of Cereals, Oils and Foods*, 2019, 27(3): 9-14. 完

备注: 本文的彩色图表可从本刊官网 (<http://lyspkj.ijournal.cn/ch/index.aspx>)、中国知网、万方、维普、超星等数据库下载获取。