

doi:10.3969/j.issn.2095-6002.2019.01.001

文章编号:2095-6002(2019)01-0001-09

引用格式:金征宇,麻荣荣,田耀旗.方便米食中淀粉组分对风味形成的贡献[J].食品科学技术学报,2019,37(1):1-9.



JIN Zhengyu, MA Rongrong, TIAN Yaoqi. Contribution of starch components to flavor formation in instant rice products [J]. Journal of Food Science and Technology, 2019,37(1):1-9.

方便米食中淀粉组分对风味形成的贡献

金征宇¹, 麻荣荣^{1,2}, 田耀旗^{1,2}

(1. 江南大学食品科学与技术国家重点实验室, 江苏无锡 214122;

2. 江南大学食品学院, 江苏无锡 214122)

摘要:方便米食是适合以稻米为主食的消费者口味的一大类米制产品,其风味是评判食品好坏的重要指标。淀粉作为方便米食的主要组分之一,参与其风味形成并影响风味释放。简述了淀粉组分对方便米食风味物质贡献的共性机制,分别阐述了常温方便米饭、挤压方便米饭、米发糕、炒米、挤压米线、粽子等6大类具有代表性的方便米食产品中淀粉组分在其风味产生及释放中的重要作用,并提出了淀粉对方便米食风味物质贡献方面的研究与发展趋势,以期为高品质方便米食产品开发提供重要科学依据。

关键词:淀粉;方便米食;风味;贡献;机制

中图分类号:TS231

文献标志码:A

随着经济的发展,生活节奏加快,方便食品因其食用简单快捷、易于携带、风味独特等优势受到消费者青睐。方便米制品作为一类重要的方便食品,适应以大米为主食的消费者饮食习惯,占据重要市场份额。目前常见的方便米食主要包括方便米饭、方便米线、炒米、米糕、粽子等几大类。

方便米食的感官品质,尤其是风味,是影响消费者喜爱程度的关键因素。淀粉作为方便米食的主要组成成分(质量分数60%以上),除了为人体提供葡萄糖这种重要能量物质外,其在食品中还具有增稠、乳化、凝胶和增强口感等多种作用,进而影响方便米食的质构、流变特性、营养功能及风味等多方面性质。本文主要针对淀粉组分对方便米食风味的影响进行展开,系统地阐述淀粉组分对方便米食风味形成中的作用机制。

1 淀粉对方便米食风味物质贡献的共性机制

在传统食品工业中,淀粉主要是以食品基本组

分的形式存在,无论是中国北方百姓的面食,还是中国南方百姓的米饭,或是西方国家餐桌上的面包,这些主食中的主要成分都是淀粉,可以说淀粉是人类获取能量的重要来源,此外,淀粉也对食品风味有重要影响。

淀粉对方便米食风味形成的贡献,主要体现在2个方面,一是淀粉复杂的多尺度结构使其对食品中的风味成分具有吸附、包埋、缓释等作用,二是在食品加工过程中,淀粉分子直接参与风味物质的形成。下面从淀粉的不同结构(颗粒结构、晶体结构、分子结构)及其反应机制层面出发,阐释淀粉与食品风味间的共性原理。

1.1 淀粉颗粒形态与风味物质的吸附

部分原淀粉比如玉米淀粉和高粱淀粉的颗粒表面存在一些不均匀的孔洞,孔径大小在1 μm左右,这些孔洞构造被认为与淀粉颗粒的生长有关^[1]。原淀粉颗粒经过物理法(如超声震荡)^[2]、化学法(如酸水解)^[3]和生物法(如酶解)^[4]可出现多孔的结构,淀粉颗粒中这些多孔结构的形成大大增加了

淀粉颗粒的比表面积;增强了淀粉颗粒吸附与包载小分子物质的能力,并能应用于食品中实现良好风味物质的缓释与保护,且能使不良风味物质受到一定程度的掩蔽^[5]。姚卫蓉等^[6-7]利用多孔淀粉对小分子的吸附、保护和缓释作用,成功制备得到粉末酱油和粉末咖啡香精,实现了淀粉的高值化利用。

1.2 淀粉结晶结构与风味物质包埋控释

在水分较充分的条件下,淀粉颗粒受热吸水膨胀并随后破裂,直链淀粉分子从淀粉颗粒中释放出来,由于直链淀粉空间位阻较低,其分子间更容易通过氢键发生重聚,此为淀粉的短期回生现象;多分枝的支链淀粉由于分子大、结构复杂,其在短期内分子重排并不明显,但是长期冷藏后支链淀粉侧链间亦可通过氢键相互缠绕形成分子聚集体,此为淀粉的长期回生现象,见图1。回生即淀粉的重结晶过程所形成的晶体呈B型,形成的六角晶系空腔较大,可以容纳36个水分子(图1(b))^[8-9]。直链淀粉在配体(如碘、金属离子、脂肪类化合物、风味小分子)存在的情况下,能够通过氢键形成左手单螺旋结构,该单螺旋具有内部疏水、外部亲水的特点,其疏水内腔可以通过疏水相互作用与方便米食中酮类、醇类、酯类等风味物质形成V-型络合物(图1(c)),对风

味物质进行包埋^[10-12]。随方便米制品储藏时间的延长,淀粉回生过程中淀粉分子重排并紧密聚集,水分析出,使得淀粉凝胶网络结构逐步塌陷破坏^[13],原先被淀粉凝胶“固定”的挥发性风味物质会慢慢释放。

1.3 淀粉分子与风味物质的形成

1.3.1 美拉德反应

美拉德反应(Maillard reaction)是糖类分子的还原性末端羰基与蛋白质分子游离氨基之间在一定条件下发生的反应,又称“羰氨反应”。该反应可以显著改变食品风味、色泽和营养价值,是存在于食品加工中一把“双刃剑”^[14]。淀粉分子量较大(大米直链淀粉约 $(0.4 \sim 2.5) \times 10^7$ g/mol,支链淀粉约 $(1.5 \sim 2.7) \times 10^8$ g/mol^[15])且仅含有一个还原性末端,几乎不能表现出还原性,因此,原淀粉并不会参与美拉德反应中,然而在食品加工过程中,原淀粉通常会经历高温蒸煮、高压、高速剪切等加工环境,从而导致其结构发生改变。目前,食品体系中的淀粉主要通过以下两个途径影响或参与美拉德反应。

第一,淀粉能够在糊化过程中通过自身的吸水膨胀,显著地改变整个食品基质的水分分布状态,进而影响体系的黏度以及参与美拉德反应分子的流动性^[16]。就原淀粉而言,其对于美拉德反应近乎表现惰性,加之其颗粒不能有效吸收食品体系中美拉德

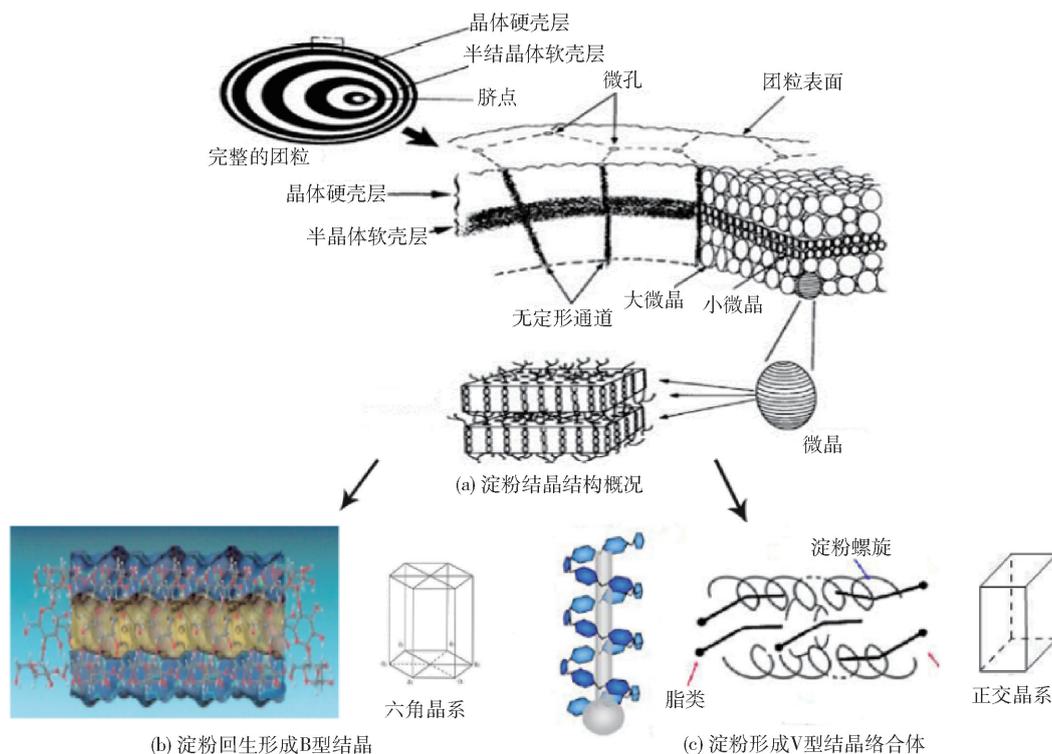


图1 淀粉结晶结构与风味物质包埋控释

Fig. 1 Crystalline structure of starch and controlled release of flavor compounds

反应产生的水分子,随着美拉德反应产物和水分子的累积,美拉德反应将会受到抑制。然而,当淀粉经过充分糊化,体系能够充分吸收美拉德反应产生的水分子,此时美拉德反应主要与整个体系的物理特性有关^[17]。显然,食品基质中淀粉的糊化状态影响

着美拉德反应的进程和速率,进而影响食品的风味。

第二,食品加工过程中淀粉大分子在受到酶解、酸解、高温等处理后发生降解,生成的小分子还原糖可为美拉德反应提供反应底物,反应过程如图2,从而对食品的风味和色泽产生重要影响^[18]。

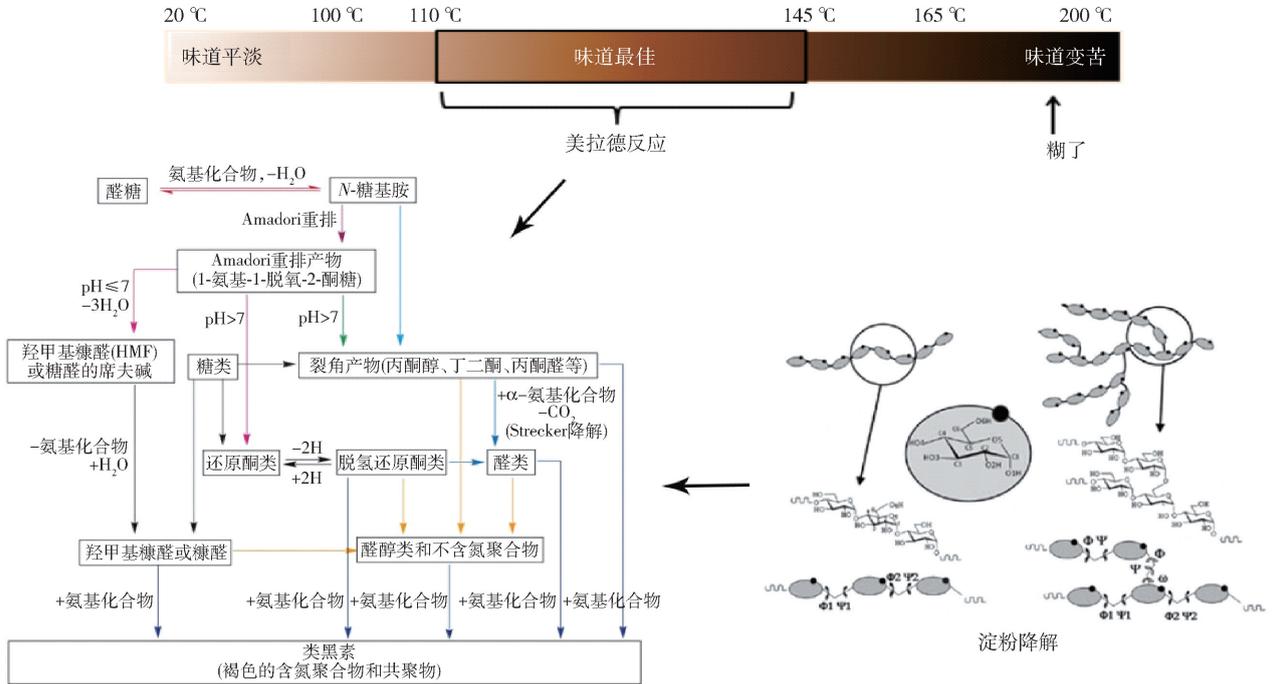


图2 淀粉在美拉德反应中的贡献

Fig. 2 Contribution of starch during Maillard reaction

1.3.2 焦糖化反应

焦糖化反应(caramelization)是糖类物质尤其是单糖在没有氨基化合物参与的情况下,经过高温降解、脱水聚合生成黏稠状黑色或褐色物质的过程,是食品工业中除了美拉德反应外的另一种重要的食品非酶促褐变反应^[19],在食品增色增香中发挥着重要作用。

食品工业中常用的焦糖色素便是利用焦糖化反应制备而成,且已广泛应用于可乐、酱油、醋、啤酒等诸多食品中。淀粉是制备焦糖色素的重要原料。目前,相比于传统方法用提取的淀粉作为制取焦糖色素的原料,越来越多的研究将重点放在富含淀粉的农产品的直接加工利用,比如稻米、红薯直接加工制取焦糖色素,这些方法的显著优势在于简化了焦糖色素的生产工艺,降低了生产成本,并将农作物中的淀粉、糖类、纤维素、果胶、蛋白等成分充分利用起来,能够最大限度地发挥原料的经济效益^[20-21]。

方便米食中的淀粉在高温下分解产生还原糖,可参与焦糖化反应。焦糖化反应初期葡萄糖形成

1,2-脱水- α -D-葡萄糖和1,6-脱水- β -D-葡萄糖,系列脱水反应后生成5-羟甲基-2-糖醛;反应后期,则是聚合反应,生成焦糖风味及色素,如图3,是米制品(如炒米)风味及色泽的主要来源之一。

2 淀粉对方便米食风味物质贡献的具体案例

2.1 对常温方便米饭风味的贡献

方便米饭是指由工业化大批量生产的、可直接或间接经简单加热后食用,且外形与普通米饭基本一致的一类米饭食品^[22]。根据加工工艺的不同,可将方便米饭分为脱水米饭、自热方便米饭、挤压方便米饭、非脱水米饭、方便炒饭等几大类^[23]。目前市场上的常温方便米饭以自热式和微波加热式为主,普遍存在的风味不佳问题,是限制方便米饭产业发展的主要因素之一。

米饭的风味主要由美拉德反应和热降解过程形成,并在储藏期间产生劣变。在蒸煮过程中,酶催化

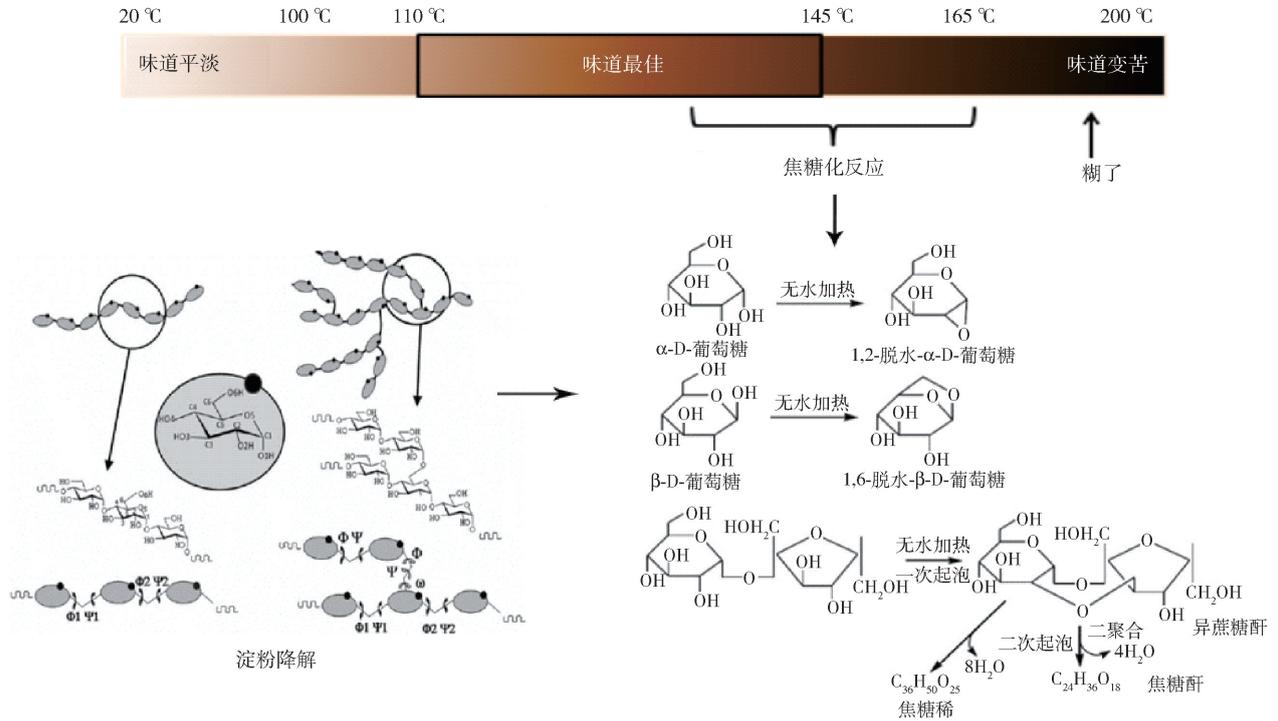


图3 淀粉在焦糖化反应中的贡献

Fig. 3 Contribution of starch at caramellization

淀粉部分分解为还原糖^[24],与游离氨基酸或蛋白质部分降解产生的肽或氨基酸发生美拉德反应,产生 Amadori 产物,如图 4 所示,Amadori 产物进一步重排、降解,生成醛类、酮类、酯类、醇类、吡咯类等小分子风味物质^[25],米饭典型风味 2-乙酰-1-吡咯啉亦是在此过程中产生的^[26];淀粉-脂质复合物在蒸煮过程中受热分解,产生游离脂肪酸^[27],进而发生水解、氧化、降解等化学变化,形成挥发性化合物。在冷却及存储的过程中,直链淀粉可与脂质形成复合物,有助于减少游离脂质的氧化降解,减缓劣变小分子风味物质的产生;此外,研究发现淀粉可与香味物质相互作用从而影响香气成分的感知^[28],在储藏期间,淀粉回生形成螺旋空腔^[29],可对小分子风味物质进行包埋,普遍研究认为支链淀粉回生可逆,因此在米饭复热过程中香味可得以进一步释放。

2.2 对挤压方便米饭风味的贡献

挤压方便米饭,又被称作营养复合方便米饭、重组方便米饭、平衡膳食方便米饭、保健米饭等^[30],通常是以碎米、谷物粉、粗粮为原料,复配各种食品添加剂,以挤压为核心生产技术制备的方便米饭,其制作工艺一般依次为:原料、磨粉、复配、调质、挤压、切割、干燥、冷却、成品^[31]。相比于普通的方便米饭,挤压方便米饭具有生产效率高、成本低、原料

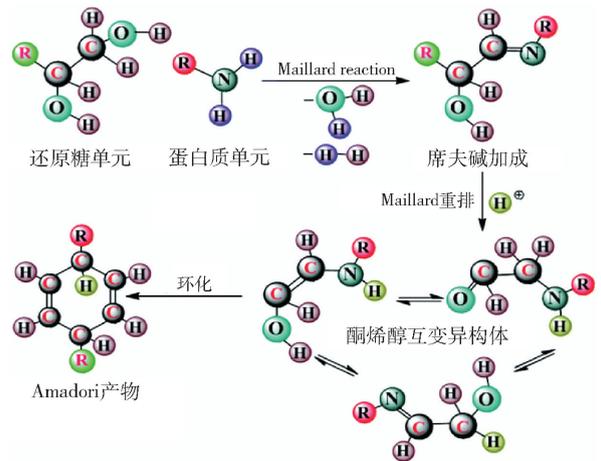


图4 Amadori 产物的形成

Fig. 4 Formation of Amadori compounds

附加值高、不易回生、有利于营养强化或改良的特点,具有独特的产品质构、风味和营养价值。挤压处理对产品原料在高温环境下进行高速剪切作用,导致产品原料的淀粉、蛋白质、脂质等主要组分产生美拉德反应、热降解反应等^[32],改变组分结构、性质,生成系列小分子风味物质,从而影响产品风味。首先,在挤压过程中,高温和少量添加水会导致部分淀粉颗粒加热糊化,而高速剪切作用会进一步降解淀粉分子,生成少量的糊精、还原糖和短链小分子烃类^[33]。除此之外,原料中的另外一个主要成分——

蛋白质也在挤压处理的高温条件下降解,生成少量氨基酸。在挤压的高温环境下,降解生成的还原糖与氨基酸分子产生美拉德反应,生成具有玫瑰香味的2-苯乙醇和2-苯乙酸,以及具有爆米花香味的香米特征成分2-乙酰-1-吡咯啉^[34]。降解生成的还原糖在高温作用下还可进一步降解为具有酸味的醋酸、焦糖风味的麦芽糖醇和坚果风味的呋喃类小分子化合物^[35]。此外,原料中未分解的脂质,以及产生的风味物质,例如己醇、己醛、反-2-己烯酸等,与淀粉中的直链淀粉形成淀粉-脂质复合物,从而影响香味物质的释放^[36]。最后,挤压制备的方便米饭在产品贮藏或者干燥过程中会产生淀粉回生现象,糊化后原本松散的淀粉链重排形成稳定的螺旋结构,与小分子风味物质络合^[37]。在产品食用的二次糊化过程中,螺旋结构再次打开,使得风味物质得到释放。

2.3 对米发糕风味的贡献

米发糕是我国的传统大米发酵食品,其外表光滑,内呈蜂窝状,口感绵软,有发酵产生的特殊香气,含水量高,极易被人体消化吸收,具有良好的风味和营养。米发糕是以籼米经清洗浸泡、磨浆、接菌发酵、注模汽蒸、脱模等步骤制作而成^[38]。发酵和蒸制产生了米发糕特有的挥发性气味物质。

在发酵过程中,籼米浆经酵母菌或酵母菌与其他菌种共同作用分解产生具有甜味的小分子糖和呈味氨基酸以及以醇类、脂类、苯类、醛类、酸类化合物为主的挥发性气味物质。由于发酵过程中微生物主要利用支链淀粉,导致发酵后籼米浆中直链淀粉含量提高,从而使米发糕凝胶强度更大,口感更好^[39]。在蒸制过程中,淀粉颗粒受热吸水膨胀,直链淀粉溶出,晶体结构消失。与此同时,米发糕蒸制过程中,淀粉热降解产生和发酵分解得到的小分子糖与氨基酸发生美拉德反应,产生更多的风味物质与滋味物质^[40-41]。在随后的回生过程中,支链淀粉以螺旋结构的形式互相缠绕形成凝胶网络,并在部分区域逐渐有序化排列,形成微晶和凝胶网络结构,使米糕具有香弹韧滑的口感。在此过程中,直链淀粉形成外亲水内疏水的螺旋状空腔,使直链淀粉作为主体分子通过疏水相互作用包合不同的风味分子,并在二次加热的过程中缓慢释放,使米发糕风味更加持久^[42-44]。

2.4 对炒米和炒米粉风味的贡献

炒米和炒米粉是我国南方常见的传统方便米

食,主要以糯米为原料,经焙炒制成。炒米保留了糯米柔软、韧滑和香糯等特点,在经焙炒后,成品同时具有特殊的焦香味、口感酥脆、易于消化、米粒保存完整、质地精良、储存方便、保质期长的优点。炒米制作一般分为原料选择、浸泡、蒸煮、阴干、焙炒、冷却等步骤,其中最关键的步骤是焙炒,焙炒过程中发生的美拉德反应和焦糖化反应是产品香味和色泽形成的关键,精确控制焙炒的时间和温度可以提升产品的品质,赋予产品更好的风味。

在高温炒制过程中,糯米原有的组织结构发生改变,淀粉颗粒及晶体结构被破坏,米粉形成蜂窝状复杂结构^[45],同时产生浓郁的焦香风味,这些风味物质主要由焙炒过程中发生的美拉德反应和焦糖化反应贡献。焙炒过程中糯米原料经过高温处理,其中的淀粉和蛋白质在高温下降解,产生的小分子糖和氨基酸进一步发生羰氨反应,进而形成呋喃类衍生物、醛类、酮类、吡嗪类、吡啶类和吡咯类化合物以及二羰基化合物^[46-47]。其中,呋喃类、吡嗪类、吡啶类和吡咯类化合物是炒米的主要呈味物质:吡嗪类风味物质是美拉德反应的中间产物,具有强烈的烤香和坚果香气;呋喃类风味物质主要由糖类物质发生焦糖化反应得到,具有果香味、焦糖味;吡啶和吡咯类风味物质主要由美拉德反应产生,在低浓度时散发出令人愉悦的香甜风味^[48-49]。这些风味物质在高温焙炒过程中显著增加,并且因为其较低的风味阈值成为炒米风味的重要贡献因素,赋予了炒米浓郁的焦香风味。这些风味物质的碳骨架来源于糯米淀粉在高温下的降解,淀粉组分是美拉德反应前体物质的主要来源,对炒米风味的形成具有非常大的贡献^[50]。

2.5 对挤压米线风味的贡献

米线,又名米面条、米粉丝,是我国传统风味食品,主要以大米为原料,经浸泡、磨浆、糊化、成型、冷却等工序加工制成^[51]。米线成品质地筋道、口感爽滑、风味独特,在我国南方地区尤其是云南、广西、湖南等省区有着广阔的消费市场。米线种类较多,按照生产工艺可以分为切粉米线和榨粉米线;按照产品水分可以分为干米线和鲜湿米线^[52]。而我国民间米线更是品类繁多且各具特色,其中尤以云南过桥米线、湖南津市米线和广西桂林米线闻名天下。近年来,挤压方便米线由于集混合、蒸煮和成型于一体的特点而受到人们的关注^[53-54]。挤压米线生产新工艺具有以下显著优势:主辅料高效混合,易于实

现产品的营养强化;将不宜食用的碎米(尤其是早籼米)进行深加工利用;受热时间可控,有利于风味物质、营养成分的保留;生产绿色环保,无废水排放等。

挤压米线的主要成分是大米淀粉,相比较面条而言,其蛋白质含量较少,且挤压工艺不同,因此米线独特质构与风味的形成机理与面条不同。米线的弹性质构和米香风味主要源自蒸煮过程中大米淀粉的糊化和随后的回生凝胶化过程^[55-56]。挤压过程中,在水、热和机械剪切的作用下,淀粉分子逐步吸收水分,淀粉颗粒发生膨胀,淀粉分子间氢键受到破坏,发生糊化,与此同时挤压过程中淀粉、蛋白质发生降解^[57-58],并诱导还原糖与氨基化合物(氨基酸和蛋白质)之间发生美拉德反应^[59],美拉德反应中褐变产生色素,并伴随醛、酮等还原性中间产物生成,显著影响米线的风味和色泽。在冷却阶段,淀粉分子链尤其是直链淀粉通过氢键重排、形成连续的三维网状凝胶结构,对挤压过程中产生的风味小分子起到一定的包埋与保护作用。此外,直链淀粉单螺旋内部的疏水性空腔亦可包埋呈味分子^[60],进而影响米线风味。

2.6 对粽子风味的贡献

粽子作为传统中国米食,其感官品质独特,尤其与中国历史文化节日端午相结合,使得粽子成为全国热销产品,并且每年有大量粽子出售海外市场。粽子制备流程主要包括粽叶清洗、糯米浸泡、馅料处理、包粽、煮粽、灭菌、冷却、包装等多个工序^[61]。在整个生产过程中,原料及加工工艺等因素均会对粽子的风味、感官产生一定影响。

粽香风味源于以下3个方面。其一,也是主要风味贡献来源,糯米在蒸煮过程中与馅料主成分发生美拉德反应。以南方受众度较高的蛋黄肉粽为例,其风味来源于糯米淀粉降解后的还原糖与蛋白质降解产物天冬酰胺等物质的美拉德反应。此外,蛋黄中脂质的降解提供了一系列的醛酮类小分子物质,促进了风味的协同增效。其二,风味贡献的来源与生产工艺和原料处理息息相关^[62]。包粽密度的高低会影响水分迁移速率的快慢从而影响淀粉的糊化程度,这直接影响粽子风味与质构特性。糯米的清洗浸泡可去除其表面的米糠层,从而抑制脂肪酸等化合物的产生,防止异味,然而过久的浸泡时间则会降低米香味。在杀菌、冷却操作中,工艺参数的选择,尤其是杀菌温度、时间和冷却温度,对粽香的产

生与保留影响显著。其三,不同的粽叶选择对粽子风味的掩蔽和保留行为大相径庭^[63]。与其他传统米食不同的是,粽子的外裹材料为植物的叶片,常见有箬叶、芦苇和荷叶。综上,基于粽子本身原料、工艺的差异,淀粉所参与的美拉德反应为其风味来源提供了主要的成味物质。

3 发展趋势与展望

淀粉在方便米食风味形成及释放过程中起重要的作用,但在基础理论方面,风味物质在淀粉晶体中的分布状态与平衡状态尚不明确。高温、高压、剪切等作用下淀粉降解产物与风味物质本身安全性评价方面仍有待研究。随着社会的发展以及人们饮食方式的改变,在不久的将来,方便米食将逐渐成为人们饮食结构中的主体食品,开发淀粉晶体对风味化合物的控释技术,或研究风味包埋稳定的添加剂开发,是推进传统米食工业化、创新化的前进方向,相关研究可在此理论上开拓创新,为高品质方便主食开发提供重要科学依据。

参考文献:

- [1] BEMILLER J N, WHISTLER R L. Starch: chemistry and technology[M]. New York: Academic Press, 2009.
- [2] 张洪微,李娟,魏文毅,等. 超声波预处理制备多孔马铃薯淀粉工艺的研究[J]. 食品科技, 2010, 35(7): 253-256.
ZHANG H W, LI J, WEI W Y, et al. Research on the preparation of porous potato starch by ultrasonic pretreatment method [J]. Food Science and Technology, 2010, 35(7): 253-256.
- [3] 刘雄, 阚建全, 陈宗道, 等. 酸法制备微孔淀粉的技术研究 [J]. 食品科学, 2003 (10): 81-83.
LIU X, KAN J Q, CHEN Z D, et al. Study on preparation of microporous starch granular with acide [J]. Food Science, 2003(10): 81-83.
- [4] 应雪肖. 普通糖化酶制备多孔淀粉及其吸附性能的研究 [D]. 杭州:浙江工业大学, 2007.
- [5] WANG X, YUAN Y, YUE T. The application of starch-based ingredients in flavor encapsulation [J]. Starch-Stärke, 2015, 67(3/4): 225-236.
- [6] 姚卫蓉, 姚惠源. 多孔淀粉的应用 I: 粉末咖啡香精 [J]. 中国粮油学报, 2002(6): 55-58.
YAO W R, YAO H Y. The applications of porous starch I: coffee flavor powder [J]. Journal of the Chinese Ce-

- reals and Oils Association, 2002(6): 55–58.
- [7] 姚卫蓉, 朱仁宏, 郑书铭, 等. 多孔淀粉在粉末酱油中的应用 [J]. 中国调味品, 2006(5): 4–8.
YAO W R, ZHU R H, ZHENG S M, et al. Application of porous starch in sauce powder production [J]. China Condiment, 2006(5): 4–8.
- [8] 朱玉, 郭丽, 杜先锋, 等. 变性多孔淀粉吸附卷烟烟气气相物的研究 [J]. 中国粮油学报, 2012, 27(8): 24–30.
ZHU Y, GUO L, DU X F, et al. Study on modified starches of the adsorption of cigarette smoke vapour phase compounds [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2012, 27(8): 24–30.
- [9] BULÉON A, COLONNA P, PLANCHOT V, et al. Starch granules: structure and biosynthesis [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 1998, 23(2): 85–112.
- [10] JOUQUAND C, DUCRUET V, LEBAIL P. Formation of amylose complexes with C6-aroma compounds in starch dispersions and its impact on retention [J]. Food Chemistry, 2006, 96(3): 461–470.
- [11] BOUTBOUL A, GIAMPAOLI P, FEIGENBAUM A, et al. Influence of the nature and treatment of starch on aroma retention [J]. Carbohydrate Polymers, 2002, 47(1): 73–82.
- [12] KONG L, ZIEGLER G R. Molecular encapsulation of ascorbyl palmitate in preformed V-type starch and amylose [J]. Carbohydrate Polymers, 2014, 111: 256–263.
- [13] 刘莉, 赵建伟, 焦爱权, 等. 超高压协同 β -环糊精渗入对米饭回生的抑制 [J]. 食品与发酵工业, 2013, 39(1): 16–20.
LIU L, ZHAO J W, JIAO A Q, et al. The inhibition of retrogradation of cooked rice by high-pressure and β -cyclodextrin [J]. Food and Fermentation Industries, 2013, 39(1): 16–20.
- [14] LEDL F, SCHLEICHER E. New aspects of the maillard reaction in foods and in the human body [J]. Archiv Der Pharmazie, 1990, 29(6): 565–594.
- [15] YOU S Y, OH S K, KIM H S, et al. Influence of molecular structure on physicochemical properties and digestibility of normal rice starches [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2015, 77: 375–382.
- [16] ACEVEDO N C, SCHEBOR C, BUERA P. Impact of starch gelatinization on the kinetics of Maillard reaction in freeze-dried potato systems [J]. Food and Bioprocess Technology, 2011, 5(6): 2428–2434.
- [17] KRAMHOLLER B, PISCHETSRIEDER M, SEVERIN T. Maillard reactions of dextrins and starch [J]. Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und -Forschung, 1993, 197(3): 227–229.
- [18] 刘琴. 淀粉与氨基酸美拉德反应产物分析及功能评价 [D]. 天津: 天津科技大学, 2017.
- [19] ZHANG X, CHEN F, WANG M. Impacts of selected dietary polyphenols on caramelization in model systems [J]. Food Chemistry, 2013, 141(4): 3451–3458.
- [20] 张萃明, 任川宏. 利用红薯全薯制取焦糖色素 [J]. 农产品加工, 2004(5): 26–27.
ZHANG C M, REN C H. Preparation of caramel pigment from sweet potato whole sweet potato [J]. Agricultural Products Processing, 2004(5): 26–27.
- [21] 罗祖富. 用稻米生产焦糖色素 [J]. 适用技术市场, 1999(10): 22.
LUO Z F. Producing caramel pigment from rice [J]. Applicable Technology Market, 1999(10): 22.
- [22] 肖冰, 左姣丽, 吴雯倩, 等. 方便米饭的制作工艺现状研究 [J]. 现代食品, 2015(19): 78–80.
- XIAO B, ZUO J L, WU W Q, et al. Convenient rice production technology status quo of the research [J]. Modern Food, 2015(19): 78–80.
- [23] 陈光耀. 不浸泡蒸煮方便米饭的工艺及食用品质研究 [D]. 无锡: 江南大学, 2011.
- [24] KASAI M, ISHIGURO K, KYOUDA H, et al. Change in the amounts of reducing sugars and free amino acids in rice during the cooking processes [J]. Journal of Home Economics of Japan, 2010, 51: 579–585.
- [25] CHAMPAGNE E T. Rice aroma and flavor: a literature review [J]. Cereal Chemistry Journal, 2008, 85(4): 445–454.
- [26] TSUGITA T. Aroma of cooked rice [J]. Food Reviews International, 2009, 1(3): 497–520.
- [27] ITO S, SATO S, FUJINO Y. Internal lipid in rice starch [J]. Starch-Stärke, 1979, 31(7): 217–221.
- [28] ARVISENET G, LE BAIL P, VOILLEY A, et al. Influence of physicochemical interactions between amylose and aroma compounds on the retention of aroma in food-like matrices [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2002, 50(24): 7088–7093.
- [29] HEINEMANN C, ZINSLI M, RENGGLI A, et al. Influence of amylose-flavor complexation on build-up and breakdown of starch structures in aqueous food model systems [J]. LWT-Food Science and Technology, 2005, 38(8): 885–894.

- [30] 周坚. 挤压主食营养米研究现状及发展趋势 [J]. 粮食加工, 2017, 42(1): 1-3.
ZHOU J. Research status and development trend of extruded staple nutritious rice [J]. Grain Processing, 2017, 42(1): 1-3.
- [31] 王东. 双螺杆挤压生产配合营养方便米的研究 [D]. 无锡: 江南大学, 2009.
- [32] WHITFIELD F B, MOTTRAM D S. Volatiles from interactions of Maillard reactions and lipids [J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2009, 31(1/2): 1-58.
- [33] 安红周, 赵琳, 金征宇. 工程重组方便米复配机理的研究 [J]. 食品科学, 2006(9): 126-131.
AN H Z, ZHAO L, JIN Z Y. Formulating study on new type instant rice [J]. Food Science, 2006(9): 126-131.
- [34] 张群, 夏延斌. 米饭风味影响因素及其改良技术研究 [J]. 粮食与油脂, 2005(4): 12-15.
ZHANG Q, XIA Y B. Improvement technology and effect factors of cooked rice flavor [J]. Cereals and Oils, 2005(4): 12-15.
- [35] CASTRO N, DURRIEU V, RAYNAUD C, et al. Melt extrusion encapsulation of flavors: a review [J]. Polymer Reviews, 2016, 56(1): 137-186.
- [36] WANG S, COPELAND L. Molecular disassembly of starch granules during gelatinization and its effect on starch digestibility: a review [J]. Food and Function, 2013, 4(11): 1564-1580.
- [37] XU E, WU Z, JIAO A, et al. Dynamics of rapid starch gelatinization and total phenolic thermomechanical destruction moderated via rice bio-extrusion with alpha-amylase activation [J]. RSC Advances, 2017, 7(32): 19464-19478.
- [38] 王玉芳, 赵思明, 陈勉, 等. 中国传统米发糕的现代加工技术 [J]. 中国粮油学报, 2013, 28(12): 115-118.
WANG Y F, ZHAO S M, CHEN M, et al. Modern production technology of Chinese traditional fermented rice cake [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2013, 28(12): 115-118.
- [39] 刘小翠. 米发糕发酵剂及复配粉的研发 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2008.
- [40] 陈芳溶. 米发糕储藏保鲜技术与风味分析 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2011.
- [41] 熊青, 范露, 鲍方芳, 等. 米发糕的风味形成及特征分析 [J]. 食品科学, 2011, 32(24): 232-236.
XIONG Q, FAN L, BAO F F, et al. Flavor formation and characteristics of fermented rice cake [J]. Food Science, 2011, 32(24): 232-236.
- [42] 荣志伟, 冯涛. 直链淀粉: 风味分子包合物制备及结构表征 [J]. 粮食与油脂, 2011(9): 1-5.
RONG Z W, FENG T. Preparation and structure characterization of amylose-flavor molecules inclusion compound [J]. Cereals & Oils, 2011(9): 1-5.
- [43] TAPANAPUNNITIKUL O, CHAISERI S, PETERSON D G, et al. Water solubility of flavor compounds influences formation of flavor inclusion complexes from dispersed high-amylose maize starch [J]. Journal of Agriculture and Food Chemistry, 2008, 56(1): 220-226.
- [44] KASEMWONG K, ITTHISOPONKUL T. Encapsulation of flavor compounds as helical inclusion complexes of starch [M] // ANDREA B. Handbook of odor. Germany Freising: Springer International Publishing, 2013.
- [45] 陈建新. 过热蒸汽焙炒黄酒酿造大米机理及其工程优化研究 [D]. 无锡: 江南大学, 2014.
- [46] SACCHETTI G, DI MATTIA C, PITTIA P, et al. Application of a radical scavenging activity test to measure the total antioxidant activity of poultry meat [J]. Meat Science, 2008, 80(4): 1081-1085.
- [47] MEATMARTINS S I F S, JONGEN W M F, VAN BOEKEL M A J S. Application of a radical scavenging activity test to measure the total antioxidant activity of poultry: a review of Maillard reaction in food and implications to kinetic modelling [J]. Trends in Food Science & Technology, 2000, 11(9/10): 364-373.
- [48] REINECCIUS G A. Flavor chemistry and technology [M]. New York: Taylor & Francis, 1986.
- [49] BAKER G L. Flavor formation and sensory perception of selected peanut genotypes (*Arachis hypogea* L.) as affected by storage water activity, roasting, and planting date [D]. Florida: University of Florida, 2002.
- [50] 黄梅丽. 食品色香味化学 [M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2008.
- [51] 方奇林. 大米淀粉米线的研究 [D]. 无锡: 江南大学, 2005.
- [52] 尹阳, 孟庆虹, 张守文. 米线加工研究现状及相关问题探究 [J]. 中国食品添加剂, 2015(8): 154-158.
YIN Y, MENG Q H, ZHANG S W. Research status and problems on rice noodle processing [J]. China Food Additives, 2015(8): 154-158.
- [53] 杨涛, 辛建美, 徐青, 等. 双螺杆挤压技术在食品工业中的应用研究现状 [J]. 食品与生物技术学报, 2009, 28(6): 733-740.
YANG T, XIN J M, XU Q, et al. The research applica-

- tion status of in food industry [J]. *Journal of Food Science and Biotechnology*, 2009, 28(6): 733 – 740.
- [54] 王晓培. 以大米淀粉为原料的米线挤压工艺及品质改良的研究 [D]. 无锡:江南大学, 2017.
- [55] SANDHU K S, KAUR M, MUKESH. Studies on noodle quality of potato and rice starches and their blends in relation to their physicochemical, pasting and gel textural properties [J]. *LWT - Food Science and Technology*, 2010, 43(8): 1289 – 1293.
- [56] MARTI A, PAGANI M A. What can play the role of gluten in gluten free pasta? [J]. *Trends in Food Science and Technology*, 2013, 31(1): 63 – 71.
- [57] POMMET M, MOREL M H, REDL A, et al. Aggregation and degradation of plasticized wheat gluten during thermo-mechanical treatments, as monitored by rheological and biochemical changes [J]. *Polymer*, 2004, 45(20): 6853 – 6860.
- [58] LIU W C, HALLEY P J, GILBERT R G. Mechanism of degradation of starch, a highly branched polymer, during extrusion [J]. *Macromolecules*, 2010, 43(6): 2855 – 2864.
- [59] SINGH S, WAKELING L, GAMLATH S. Retention of essential amino acids during extrusion of protein and reducing sugars [J]. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 2007, 55(21): 8779 – 8786.
- [60] FENG T, WANG H, WANG K, et al. Preparation and structural characterization of different amylose-flavor molecular inclusion complexes [J]. *Starch-Stärke*, 2018, 70(1/2): 1700101.
- [61] 徐惠萍. 鲜肉粽货架期品质变化及其机理研究 [D]. 杭州:浙江工商大学, 2010.
- [62] 吴凤凤. 发芽对糙米主要营养成分、生理功效和加工特性的影响 [D]. 无锡:江南大学, 2013.
- [63] 李卢娟. 糯米及箬叶对白米粽感官品质的影响研究 [D]. 无锡:江南大学, 2016.

Contribution of Starch Components to Flavor Formation in Instant Rice Products

JIN Zhengyu¹, MA Rongrong^{1,2}, TIAN Yaoqi^{1,2}

(1. *The State Key Laboratory of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China;*

2. School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

Abstract: Instant rice products are a large group of convenient products and the flavor of these products is the important indicator for the evaluation. Starch, as one of the main components of rice products, is involved in their flavor formation and release. The common mechanism of the contribution of starch components to flavor was summarized. The role of starch components in the flavor formation and release for six main categories of instant rice products were exemplified. These instant rice products included instant rice at room temperature, instant rice by extrusion, fermented rice cake, extruded rice noodles, and rice dumpling. The trend in research and development of the contribution of starch to flavor is put forward in order to provide important scientific basis for the development of instant rice products with high quality.

Keywords: starch; instant rice products; flavor; contribution; mechanism

(责任编辑:李 宁)