

直链淀粉对大米食品品质影响的研究进展

朱国茵, 高源远, 彭星云*

(中国农业大学食品科学与营养工程学院, 植物蛋白与谷物加工北京市重点实验室, 北京 100083)

摘要: 大米及米制品在我国居民的传统饮食中占据重要地位。直链淀粉的含量与结构不仅决定了大米淀粉的理化性质, 也对各种大米食品的加工特性、食味品质等有显著影响。该研究综述了米饭、米粥、米粉、米糕、油炸大米片、汤圆、粽子等 7 种典型大米食品的加工特性、风味品质、食用品质, 分析了直链淀粉在这些食品品质形成和消化过程中发挥的重要作用。一方面, 直链淀粉的含量影响淀粉颗粒的吸水、膨胀, 进而影响大米淀粉在加工过程中的糊化、凝胶、结晶过程, 决定着大米食品的结构、质地等感官属性; 另一方面, 直链淀粉的结构影响其结晶度和对风味分子的包埋作用, 影响大米食品消化率并参与风味品质的形成。该研究可以为大米食品加工的技术创新和现代化发展提供理论参考。

关键词: 直链淀粉; 大米食品; 传统食品; 食品品质

文章编号: 1673-9078(2023)10-331-340

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2023.10.1267

Research Progress on the Effect of Amylose on Rice Food Quality

ZHU Guoyin, GAO Yuanyuan, PENG Xingyun*

(Beijing Key Laboratory of Plant Protein and Cereal Processing, College of Food Science & Nutritional Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract: Rice and rice products occupy an important position in the traditional diet of Chinese residents. The content and structure of amylose not only determine the physicochemical properties of rice starch, but also affect significantly the processing characteristics and eating quality of various rice foods. This paper reviews the processing characteristics, flavor quality and edible quality of seven typical rice foods, including cooked rice, rice porridge, rice noodle, rice cake, fried rice slice, tangyuan (glutinous rice balls), and zongzi (sticky rice dumpling wrapped in bamboo leaves). The important roles of amylose in the quality formation and digestion of these rice foods are also analyzed. On one hand, the content of amylose affects the water absorption and expansion of starch granules, and then affects the gelatinization, gelation and crystallization processes of rice starch during processing, thereby determining the sensory properties (such as structure and texture) of the rice foods; On the other hand, the structure of amylose affects its crystallinity and the entrapment of flavor molecules, thereby influencing the digestibility of rice foods and participating in the formation of flavor and quality. This work provides a theoretical reference for the technological innovation and modernization of rice food processing.

Key words: amylose; rice product; traditional food; food quality

引文格式:

朱国茵,高源远,彭星云.直链淀粉对大米食品品质影响的研究进展[J].现代食品科技,2023,39(10):331-340

ZHU Guoyin, GAO Yuanyuan, PENG Xingyun. Research progress on the effect of amylose on rice food quality [J]. Modern Food Science and Technology, 2023, 39(10): 331-340

大米是我国最重要的口粮,也是全球 30 多亿人的主食^[1,2]。我国以大米为原料制作食品的历史十分悠久,在各地饮食文化影响下,诞生了多种不同加工方式的大米食品。近年来,符合现代消费需求的即食米

收稿日期: 2022-10-05

基金项目: 国家自然科学基金青年项目 (NO.32001650)

作者简介: 朱国茵 (1999-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 粮食、油脂及植物蛋白工程, E-mail: zhuguoyin@cau.edu.cn

通讯作者: 彭星云 (1989-), 男, 博士, 副教授, 研究方向: 淀粉、碳水化合物和植物蛋白的加工与利用, E-mail: pengx@cau.edu.cn

制品、方便米制品大量涌现,自热米饭、冲泡粥、方便米粉、大米脆片、速冻汤圆、速冻粽子等多种产品迅速发展^[3],市场前景广阔。然而,我国大米传统食品的现代化加工与产品创新之路往往面临着特色品质难保真、货架期品质难保持、现代消费需求难满足等共性问题。深入揭示我国传统大米制品的品质形成机制有助于突破这些产业发展障碍。

大米通常含有 60%~70%的淀粉,单个淀粉颗粒直径大约 3~8 μm ,在谷类中最小。直链淀粉是 D-葡萄糖残基以 α -1,4 糖苷键连接的线性聚合物,空间构象

卷曲成螺旋形,每一回转为6个葡萄糖基,部分直链淀粉含有少量的长分支。大米直链淀粉平均分子质量是 $3.73 \times 10^5 \sim 4.89 \times 10^6$ g/mol^[4],数均聚合度(DP_n)和平均链长分别是847~1118和230~370^[5]。但直链淀粉的含量与结构会随品种、产地不同而显著改变,并影响淀粉的凝胶化、糊化、回生及消化特性^[6]。大量研究表明,大米淀粉,尤其是其中的直链淀粉,对传统大米食品特色品质的形成具有关键作用^[7]。这些复杂的影响包括了加工适应性、质地和感官品质、食用便利性、营养价值等各方面^[8,9]。因此,加工中常需要通过控制大米中的直链淀粉指标来获得高品质的传统大米食品。已有学者对大米淀粉特性对大米制品品质影响的研究进行综述,但缺少系统总结和阐述直链淀粉影响大米制品品质形成的研究。本文基于传统大米食品,从直链淀粉的含量与结构等角度,综述了近年来研究中直链淀粉在米制品特殊质地和口感形成、食品特征性滋气味的形成与释放等方面的影响,总结了各类典型产品对大米直链淀粉特性的要求,可为传统大米食品的品质提升和现代化发展提供理论参考。

1 直链淀粉对米饭的品质影响

1.1 米饭

大米可分为糯米、非糯米(粳米、籼米)两大类,我国的《食品安全国家标准大米》明确规定了优质籼米和粳米的直链淀粉含量分别为13%~22%和13%~20%^[10]。广泛的证据支持直链淀粉的含量、结构与大米的蒸煮品质和食味品质有关^[8,11,12]。根据直链淀粉含量的不同,非糯米还可进一步分为低直链淀粉(<20%)大米,中等直链淀粉(20%~25%)大米和高直链淀粉(>25%)大米^[13]。

1.1.1 加工品质

米饭由大米经蒸煮加工而成,其蒸煮品质主要可以从吸水性、蒸煮时间、硬度及粘性等几个方面进行评价。

直链淀粉含量与淀粉糊化过程中的膨胀能力有关,进而可以影响大米蒸煮时的吸水量。蒸煮大米时,如果直链淀粉伴随淀粉糊化过程从淀粉颗粒中游离出来,那么淀粉颗粒的膨胀体积增加,淀粉颗粒容易破碎,使可溶性的淀粉成分更容易游离到米粒之间,显著增加米粒之间的粘性^[14]。同时,破碎的淀粉颗粒无法继续通过胀吸作用把水分留存在颗粒内部,因而在宏观上表现出米粒的吸水量和胀性减小。

研究普遍认为,大米的直链淀粉含量在12%~24%时,淀粉颗粒破碎较少,大米的蒸煮吸水率较高、胀

性大,且米粒间游离的淀粉成分少,米粒软硬适中、有粘性,适于加工为米饭;而大米中直链淀粉含量>25%时,淀粉颗粒膨胀受限,米饭不易糊化,蒸煮时间也需相应延长,且在蒸煮时热溶出的可溶性淀粉少,则米粒硬、粘性差、口感不佳^[13,15,16]。

1.1.2 食味品质

1.1.2.1 风味品质

直链淀粉对米饭的气味具有较大影响。米饭的代表性香气化合物主要有五种,分别是己醛、1-辛烯-3-醇、 γ -癸内酯、2-乙酰-1-吡咯啉(2-Acetyl-1-Pyrroline, 2-AP)、2,3-丁二酮^[17]。除2,3-丁二酮外,其余四种都属于大米中的固有香气成分,2-AP是形成米饭香气的主要成分^[18]。有研究指出,直链淀粉形成的螺旋结构具有疏水的中央空腔,能够容纳醇类、醛类、酮类等香味物质,从而影响风味物质的释放^[19]。在蒸煮米饭的过程中,直链淀粉能与多种香气化合物配体结合形成复合物,影响风味物质的挥发。研究已经证明,这四种米饭代表性香气物质都能与直链淀粉形成V型络合物,影响大米香气的强度^[20]。此外,脂肪酸也能与直链淀粉络合^[21],络合物的化学稳定性好,在大米贮藏、蒸煮等过程中不易氧化酸败,因而具有抑制不良风味产生的作用^[22]。

与上述固有香气成分不同,2,3-丁二酮主要是由米饭蒸煮过程中的美拉德反应产生的,这一过程与直链淀粉的作用关系密切。天然淀粉颗粒是由结晶区和无定形区组成的半晶体,结晶区主要由支链淀粉的外支链组成,而直链淀粉主要存在于无定形区^[22-25],蒸煮、糊化等过程中,无定形区首先受到影响^[26],直链淀粉则易在酶作用下发生降解,产生的还原糖和糊精容易与氨基酸发生反应。在反应初始阶段,大米淀粉热降解产物(葡萄糖、糊精等)中具有还原性的半缩醛羟基与蛋白质分子中的游离氨基反应,形成席夫碱,然后通过亚胺重排和烯醇式异构形成Amadori中间产物。随后,Amadori产物首先降解形成一系列 α -二羰基化合物。最终,脱氧邻酮醛糖容易发生逆羟醛缩合反应形成甘油醛、甲醛、乙醇醛等降解产物,而这些逆羟醛缩合反应的副产物之一就有2,3-丁二酮^[27],这是已经被研究广泛报道的米饭中的关键气味活性物质。另外, α -二羰基化合物也可与氨基酸进一步反应得到 α -氨基羰基化合物,通过Strecker降解反应生成一系列米饭的重要气味活性物质,包括:2-苯乙醇、苯乙酸(玫瑰的气味)、2-氨基苯乙酮(樟脑气味和腐败气味)以及2-乙酰-1-吡咯啉(具有爆米花香味的米饭特征香气)和2-甲基-3-呋喃硫醇(咖啡气味)^[3]。

1.1.2.2 食用品质

直链淀粉也与米饭色泽、米粒长宽比等外观特性有关,但内在机制尚待研究。总体而言,直链淀粉含量与谷粒的长宽比呈极显著的正相关,直链淀粉含量越高,谷粒长宽比值越大,即稻米越细长。籼稻品种的直链淀粉含量一般高于粳稻品种,所以籼米往往细而长,粳米短而宽^[8]。

米饭的色泽也受到直链淀粉的含量的影响,直链淀粉含量较高时,米饭的色泽相对较暗,光泽度相对较差^[12]。

近年来,直链淀粉分子的精细结构也被发现与米饭品质有直接关系,其中以对硬度和粘性的影响最为显著。大米中直链淀粉的分子尺寸与饭粒的硬度和粘性分别呈负相关和正相关关系:直链淀粉含量越高、分子尺寸越小、1 000~2 000 聚合度的链越多,则饭粒硬度越大^[26]。这种现象实际反映了不同结构特点的直链淀粉分子从淀粉颗粒中的溶出行为,即尺寸更小、链更短的直链淀粉更容易游离到饭粒之间,从而与溶出的支链淀粉一起成为米饭粘性形成的物质基础;相反,那些长链的直链淀粉不容易游离出淀粉颗粒,从而更容易参与凝胶形成,为米饭提供硬度^[28]。

直链淀粉能通过回生作用影响米饭的食用品质。直链淀粉分子呈直链状,空间障碍小,所以易于在糊化后重新结晶,回生速度快;而支链淀粉含有大量分支链,空间障碍大,不易重结晶,回生速度慢^[29]。直链淀粉含量高的米饭老化速度快^[30],因此,冷米饭的粘性小,弹性低,硬度较大^[31,32]。这种米饭虽然直接食用品质不佳,但熟米饭后经离散冷却的硬度和胶粘性较为适中,适于制作炒饭^[33,34]。

基于直链淀粉与米饭食味品质的密切关系,近年来已有研究者利用一元线性回归方法构建了米饭食味品质的评价模型,结果表明以直链淀粉含量预测米饭软硬度的适用性较好($R^2=0.744$),而较不适于预测米饭的黏度^[12]。

1.1.2.3 消化性

淀粉消化率受到淀粉颗粒大小、淀粉结晶度、直链淀粉含量和支链淀粉链长度以及非淀粉成分(如纤维、蛋白质、脂质和多酚)的影响,其中,直链淀粉含量被视为大米淀粉消化率的关键决定因素^[35]。大米淀粉的消化率与直链淀粉含量呈负相关^[36]。淀粉可分为快速消化淀粉(Rapidly Digested Starch, RDS)、缓慢消化淀粉(Slowly Digested Starch, SDS)和具有抗消化性的抗性淀粉(Resistant Starch, RS)。由于直链淀粉能够抑制淀粉颗粒的溶胀,形成更稳定的双螺旋和更强的微晶结构,抵抗酶的消化^[37],因此随着直链

淀粉含量的增加,RS 含量增加。Zhang 等^[38,39]研究粳稻的直链淀粉含量与消化性发现,高直链粳稻(直链淀粉含量 33.3%)的 RS 含量可达 74.21%,糯性粳稻和中等直链粳稻(直链淀粉含量 18.8%)中 RS 含量分别为 66.15%和 68.04%;而在煮熟之后,三种粳稻的 RS 含量均急剧下降,糯性粳稻和中等直链粳稻中的 RS 含量降至约 3%,高直链粳稻的 RS 含量仍可达 42.40%,下降幅度显著低于较低直链淀粉含量的品种。类似结果也被罗显莉^[40]、王志颖等^[41]的研究所报道。

1.2 米粥

米粥是一种以大米为主要原料,经煮制而成的粘稠流质主食^[42]。通常,白米粥的口感品质主要源自米粥自身的黏度、流动性及滋味。优质的米粥应黏度和流动性适中,米粒分散均匀、不粘结成团,无硬粒或回生现象^[43]。米粥属于剪切稀化的假塑性流体,可用幂律方程($\tau=K(-du/dr)^n$)中的稠度系数 K 来评价米粥的黏稠程度。有研究认为, K 值在 65~115 Pa·sⁿ 的米粥品质较高^[44]。

淀粉糊化和淀粉成分的溶出被认为与米粥黏度和流动特性直接相关。米粥黏度过高,质地黏稠厚重,易粘结成团;米粥黏度过低,则口感稀薄,米粒容易沉降。有研究发现,煮粥过程中从饭粒中游离出来的直链淀粉对米粥黏度影响不大,米粥黏度增加主要依靠淀粉颗粒的膨胀^[14]。由于直链淀粉具有调节淀粉颗粒膨胀的作用,因而也间接影响着米粥的黏度和口感。若缺少直链淀粉,糊化淀粉颗粒不受限制地溶胀和崩溃,导致黏度反而减小;如果直链淀粉过多,淀粉颗粒膨胀体积小,黏度也不足。

由于米粥与米饭的制作工艺、品质要求、适宜黏度不同,所以适宜制作米粥和米饭的大米中的直链淀粉含量有区别。高直链淀粉(31.8%~42.8%)大米所制米粥黏度高、流动性弱,质地粘稠;糯米(直链淀粉含量约 5%)制得的米粥黏度低、流动性高;中等直链淀粉含量(18.2%~19.9%)的粳米制得米粥口感最佳^[45]。Lee 等^[46]的研究也得到了类似的结果。

1.3 方便米饭和方便米粥

方便米饭主要有非脱水和脱水型两种。脱水方便米饭、方便米粥均是以大米为原料,经 α 化处理后通过热风或冷冻干燥脱水制成,加水浸泡后食用^[47];非脱水方便米饭如自热米饭等无需复水,加热即可食用^[48]。

优质的脱水方便米饭复水后米粒饱满清香、软硬适中、颗颗分明,高复水性、抗老化性是保证产品品质的关键。研究发现,直链淀粉含量越低,方便米饭

的复水时间越短,复水率越高,回生程度越小,不易老化回生^[49,50]。王莉等^[51]研究 93 个水稻品种的糊化特性及复水性质,认为直链淀粉含量 15.5%~17.5%的大米最适宜加工成方便米饭。

自热型方便米饭普遍存在老化回生、加热效果差等问题,米饭颗粒硬、板结结块的现象也影响了产品的食用品质。通常通过原料选择、生产工艺、添加品质改良剂等方法抑制淀粉的老化回生,通过优化包装结构等方法提高加热效率^[52]。直链淀粉含量较低的大米糊化所需的热量少,回生慢,更适于制作自热米饭。通过对 37 个稻米品种的比较研究发现,直链淀粉含量在 16.3%~18.5%的大米生产的自热米饭在蒸煮与质地品质上表现最佳^[53];江凌燕^[34]认为直链淀粉含量是影响速冻方便米饭品质的关键因素,直链淀粉含量低(约 16.4%)的原料适合用于速冻方便米饭的制作。

此外,直链淀粉对方便米饭和方便米粥风味的影响主要体现在两个方面。其一是对小分子风味物质的包埋作用。但与鲜米饭不同的是,随储藏时间延长,回生的淀粉分子重排结晶,使得淀粉凝胶网络结构逐步塌陷^[54],被包埋的挥发性风味物质可能会重新缓慢释放。其二是直链淀粉可参与风味物质的形成,如美拉德反应等^[3]。

2 直链淀粉对大米制品品质的影响

2.1 挤压膨化大米制品

挤压膨化技术是集加热、混合、蒸煮、搅拌、膨化、杀菌、成型为一体的连续化加工技术,淀粉组成和特性是影响挤压特性最主要的因素之一^[55]。

米粉是主要以大米为原料,经洗米、泡米、碾磨、挤压糊化、成型、老化等工序加工而成的一类传统食品^[56],目前已经在我国很多地区实现了机械化生产。有报道指出,直链淀粉含量会影响米粉团的糊化、膨胀特性等加工品质及质地、口感等食味品质^[57]。

2.1.1 加工品质

大米原料中的直链淀粉含量越高,其峰值黏度、谷值黏度、终点黏度、回生值越高,而崩解值越小^[58,59]。这是因为直链淀粉有助于提高糊化淀粉颗粒的强度和完整性,使热糊稳定性好、抗剪切能力强;同时更高含量的直链淀粉有利于形成更紧密稳定的凝胶网络,便于通过老化工序进一步提高米粉的韧性和强度^[60,61]。使用直链淀粉含量过低(<10%)的原料米通过挤压机进行糊化时,粉团的峰值黏度显著低于其他品种,虽然容易糊化,但粘结性和成团能力差,无法挤压成型^[62]。研究发现,直链淀粉含量高的大米淀粉(20%、

32%)经过挤压机时的膨胀率最高,直链淀粉含量为 8%的大米淀粉膨胀率最低^[63]。

储能模量(G')和损耗模量(G'')可用于评价米粉的加工性能。其中, G' 反映了米粉团的弹性特征,即粉团凝胶的硬度和强度;而 G'' 则反映了米粉团的黏性特征。研究显示,大米直链淀粉含量高的原料,加工成米粉后的 G' 更大,米粉凝胶的弹性好、强度和硬度高、抗剪切力强,适用于加工成米粉^[60]。

总结起来,直链淀粉影响大米粉团形成和粉条的拉伸成型。首先,直链淀粉与粉团粘性、延展性、膨胀率有关。若直链淀粉含量过低,则米粉团在挤压时与模具粘连严重,不易成型,粉条的弹性和韧性不足^[61,63]。当直链淀粉含量较高时(>15%),糊化淀粉颗粒中残存的直链淀粉有利于维持淀粉颗粒的强度,有助于增加淀粉颗粒的吸水性和膨胀性^[64],进而有利于粉团的软化和延展,提高膨胀率、降低拉条时的断条率。其次,直链淀粉与粉条的老化速度有关,直接影响米粉生产的速率。伴随淀粉糊化游离出来的直链淀粉会在老化中形成凝胶网络^[65],网络结构强化的速度与这部分直链淀粉的含量正相关^[66]。最后,粉条表面回生的直链淀粉能够形成光滑致密的膜,有利于减少二次蒸煮损失,提高米粉的耐煮性。

2.1.2 食味品质

2.1.2.1 风味品质

与蒸煮米饭类似,大米中的淀粉也能在挤压过程中降解,产生美拉德反应有关的风味物质,同时部分大米中的风味成分也可以通过与直链淀粉的络合作用封装起来^[66]。显然,直链淀粉也对米粉产品的风味呈现具有重要作用。

2.1.2.2 食用品质

由于直链淀粉能够影响挤压膨化过程中的膨胀率、孔隙率,因此直链淀粉也是决定米粉产品质地、口感等品质的关键。总体上,直链淀粉含量越高,大米淀粉挤出物的硬度越大、断裂点值越大^[63],在制作成米粉后则将表现为米粉的硬度越大、韧性越好、不易断裂。

直链淀粉过低时(8%),挤出物虽然在外观上质地更为薄而均匀、所含气泡更小^[63],但由于大米黏性较强,膨胀率低,制作米粉时容易并条,而且韧性差易断条^[57]。通常认为直链淀粉含量高于 20%的大米生产的米粉品质更好^[65],成品密度大,更紧实,口感较弹韧,咬劲好,因此米粉加工中一般选用直链淀粉含量较高(可达 28%)的籼米^[67,68]。若使用直链淀粉含量较低的晚籼米,则制成的米粉虽然韧性好,不易断条,煮熟后不易回生,但不易成条;使用直链淀粉含

量过高的早籼米,则制成的米粉虽然易成条,但容易老化回生,质硬而易断,产品难以复水,并有夹生味。研究表明,使用直链淀粉含量 24%~30%的籼米制作的米粉柔韧顺滑,弹性、耐煮性和口感均较好^[7,57,69,70],尤其以直链淀粉含量 24.3%~27.3%的大米加工出的米粉品质最好^[56]。这种以直链淀粉含量为核心的品质指标,可以作为米粉生产企业选择大米原料和进行配米操作的重要依据。

基于我国南方不同地区的本地大米在直链淀粉含量上的差异,各地形成了多种极具地方特色的米粉,它们的品质特点各不相同:江西米粉(16.54%~20.98%)硬度低、黏性好,湖南米粉(20.80%~26.33%)嚼劲足、韧性好,广西米粉(19.44%~22.92%)硬度适中、爽口弹牙^[62,71,72]。可见,系统研究各地米粉原料(尤其是直链淀粉)的特点对于在米粉工业化生产中保留地方米粉的品质特色具有十分重要的意义。近年来,具有地方特色的方便米粉发展迅猛,如何保证复水米粉的品质成为了新的技术挑战。有报道指出,直链淀粉含量与米粉复水后的拉伸强度及切断力正相关,与复水率、 α 度与负相关;据此认为,直链淀粉含量 24%~26%的大米最适宜制作复水后品质较高的方便米粉^[73]。然而,目前尚缺少在方便米粉中保留鲜米粉地方特色的系统研究。

2.1.2.3 消化性

挤压过程中,抗性淀粉不易被破坏,SDS 转变为 RDS,因而 RDS 含量增加、SDS 含量减少、且抗性淀粉含量上升但幅度较小^[41,74]。另一方面,由于米粉经过挤压成型,结构较为致密,淀粉酶相对难以与淀粉进行接触,因此,米粉的消化速率与易消化的大米淀粉和米粉(约 2 h 达平衡)相比更低^[75]。此外,高温、高压和高剪切力作用促进淀粉-脂质络合物形成,也降低了淀粉的消化率^[76]。

2.2 油炸大米制品

油炸以油脂为热传递介质,热量迅速传递到食物内部使其熟化。大米制品的油炸过程中,蛋白质变性,淀粉糊化,发生的美拉德反应使大米制品能够具有诱人的色泽、香气以及酥脆的口感。

2.2.1 加工品质

直链淀粉在热作用下能够与油脂生成 V 型淀粉-脂质复合物^[77],理化性质发生显著变化,进而影响油炸大米制品的糊化、膨胀特性等加工品质。

直链淀粉螺旋结构内部的非极性区域可以与脂肪酸尾部的碳链之间形成单螺旋包接结构^[78,79],限制淀粉颗粒溶胀、阻止直链淀粉溶出,导致淀粉的糊化熔、

糊化温度升高^[80-82]。油炸食品的膨胀体积与直链淀粉含量成反比^[83]。采用不同直链淀粉含量(0.12%~19%)制备油炸淀粉产品发现,高直链淀粉含量的油炸产品相对结晶度较高,能够形成抵抗膨胀的强网络,因此产品的膨胀率低、体积密度高^[84]。

2.2.2 食用品质

吸油量是决定油炸食品食用品质的关键,理想的油炸食品应在具有疏松酥脆的口感的同时而吸油量较低,以减少油脂摄入。直链淀粉可通过影响淀粉颗粒结构或与脂质相互作用这两种方式影响油炸食品的吸油量^[85],因此,直链淀粉含量可应用于预测油炸食品的吸油量^[86]。

蜡质玉米淀粉的直链淀粉含量低(2.48%),油炸后多数淀粉颗粒解体并融合在一起,比表面积较低,毛细管力较弱,因而吸油量最低;直链淀粉含量中等时(27.34%),淀粉颗粒溶胀,分子结构松散,吸油量最高;而高直链淀粉(50.63%)能够抑制淀粉颗粒膨胀,延缓晶体结构的坍塌和淀粉螺旋的解聚,分子的堆积更密集,相对不易吸油^[85]。

淀粉-脂质复合物的形成会显著降低淀粉的吸油率^[88],因此,一定范围内提高直链淀粉的含量(20%~35%),油炸大米食品的吸油率降低,脆度^[88]及金黄色增加^[89]。研究直链淀粉含量与大米油炸脆片品质的关系发现,油炸过程中脆片的体积、气泡的大小和吸油量,随着大米中直链淀粉含量的增加而减小^[90]。研究油炸米糕中淀粉与脂质的结合发现,高直链玉米淀粉(直链淀粉含量约 42%)比糯米淀粉(直链淀粉含量约 5%)能够复合油脂的量更多、牢固度更高,且高直链玉米淀粉中的油脂滴分布更广、更均匀,糯米淀粉中油脂滴的分布细小而分散^[91]。

2.3 其他大米制品

2.3.1 米糕

米糕是大米经过研磨、调浆、发酵、汽蒸而成的传统食品,口感柔软、蓬松、有弹性。一般认为,直链淀粉含量较高的籼米制作的米糕品质较高^[92]。直链淀粉对米糕品质的影响是多方面的。

首先,直链淀粉与生米浆的发酵性以及发酵米浆的加工性质有关。在发酵期间,酵母水解淀粉增加米浆中的可溶性糖,产生适口的甜味;同时以糖为底物发酵产生气体,促使米糕形成细腻多孔的质地。研究表明,在发酵的作用下,支链淀粉会断链或脱支,转化出部分直链淀粉,故直链淀粉的含量呈上升趋势^[93],有利于在后续工艺中生成凝胶网络结构。

其次,米糕的成型和“筋道”口感与米浆的凝胶能

力和凝胶强度有关。直链淀粉之间易通过氢键形成双螺旋,从而构成具有一定强度的凝胶网络。直链淀粉含量越高,凝胶结构的强度也越大,米糕的硬度、咀嚼性越高^[94]。研究显示,大米直链淀粉含量与米糕的比容、结构和回复性呈极显著正相关,与米糕的外观得分、硬度、咀嚼性均呈显著正相关^[95]。适于制作米糕的原料中直链淀粉含量约在20%~25%,且制得的米糕比容较大,孔洞细密、口感松软、黏度及硬度适宜;使用糯米等直链淀粉含量过低的原料(1.70%)制作米糕,淀粉颗粒在糊化过程中难以形成强度较大的凝胶网络,米糕组织结构差,成型困难^[66];如果直链淀粉含量过高,不利于淀粉颗粒在汽蒸过程中的吸水膨胀,则糊化困难,膨胀系数小,形成的凝胶弹性差、比容小,产品不够松软^[96]。

此外,发酵降解直链淀粉还能释放出其中络合的苯乙醇、乙醇和苯乙醛等挥发性香气化合物,促使米糕中香味的形成和释放^[97]。

2.3.2 汤圆

我国南方地区常把糯米磨粉后制作汤圆等口感绵软细腻的传统食品。然而,使用纯糯米粉加工的产品粘着性过强、结构易塌陷。因此,这类传统食品在现代化生产、储运和消费过程中,普遍存在货架期短、复煮后品质下降等问题。

利用少量直链淀粉的凝胶能力,可以在糯米团中混入普通大米,使其具备耐受热加工或二次加工而不塌陷的能力,从而增强产品的硬度、回复性、咀嚼性,提高可接受度^[98]。通常,直链淀粉含量与粉团高径比、透光度、硬度、胶着性和咀嚼度呈正相关,与粘聚性和粘着性呈负相关^[99]。适量添加直链淀粉对降低糯米粉团的冻裂率和失水率具有积极作用。当大米原料中直链淀粉含量为1.6%时,可以降低汤圆的冻裂率和失水率,减少粉团塌陷和汤汁浑浊;过多的直链淀粉(2.1%)反而对冷冻汤圆的品质不利^[100,101]。这种利用直链淀粉调制糯米粉的做法能够显著提高糯米食品的耐加工性和食用便利性,有利于促进糯米食品的工业化生产。

2.3.3 粽子

以糯米为主要原料的粽子是我国历史悠久的传统食品,主要用粽叶包扎成型后蒸煮食用。虽然粽子在本质上属于饭团,但其品质要求与普通的米饭有区别。高品质粽子的粽体呈白色、有光泽,米粒分明,粽体成团不散,黏度适中,口感糯而不烂,具有粽叶和糯

米的独特香气^[102]。

糯米中只含有少量的直链淀粉(1.8%~3.5%),却直接影响着粽子的组织状态。只有在直链淀粉含量适宜时,才能保证足够的支链淀粉在蒸煮过程中从米粒内游离出来,形成粘软的饭团;同时,少量直链淀粉维持润胀的淀粉颗粒不崩溃,使饭粒仍具有一定的硬度。因此,当直链淀粉含量过高(>10%)时,粽子蒸煮后吸水率和膨胀率高,饭粒不易破裂^[64],饭团易松散、粘性差^[103],不符合粽子的品质要求。当直链淀粉含量过低(<5%)时,粽子的粘度高,但饭粒容易粘连在粽叶上,影响食用。为此,可以在糯米中复配部分普通大米来改善粽子蒸煮后的组织状态和口感^[104,105]。

除了米饭本身的关键香气活性成分外,粽子中还存在源自粽叶的 α -紫罗兰酮、 β -紫罗兰酮和己醛等关键香气物质^[106]。具有青草味的己醛是对粽子香气贡献最大的醛类物质,它也能与直链淀粉形成络合物。对于添加了馅料的粽子,直链淀粉降解得到的还原糖与馅料成分发生的美拉德反应能产生许多呈味物质^[3]。粽子在蒸煮后形成的致密结构能阻碍空气进入粽体,起到抑制肉粽中脂类氧化的作用^[107],但直链淀粉在其中的贡献目前还不清楚。

3 结论与展望

直链淀粉是决定大米传统食品品质的关键成分。大量研究表明,大米直链淀粉的含量和结构能通过调节淀粉的糊化、膨胀、凝胶和老化特性,影响大米的加工和食用品质,如图1所示。

直链淀粉的含量影响淀粉颗粒的吸水、膨胀,进而影响大米淀粉在加工过程中的糊化、凝胶、结晶过程,决定着大米食品的结构、质地等感官属性;直链淀粉的结构影响其结晶度和对风味分子的包埋作用,影响大米食品消化率并参与风味品质的形成。

现有研究已经充分揭示了直链淀粉含量与大米食品品质形成之间的联系,而从直链淀粉分子量、尺寸和精细结构角度探讨大米食品品质形成机制的研究仍较缺乏。另外,当前对于地方传统大米食品特色品质的形成机制认识存在不足,直链淀粉在其中的作用还有待进一步揭示和探讨。更加全面深入地明确直链淀粉对大米食品品质的调节机制,对于评价大米原料的加工适应性和促进特色米制品的现代化发展具有重要的指导意义。

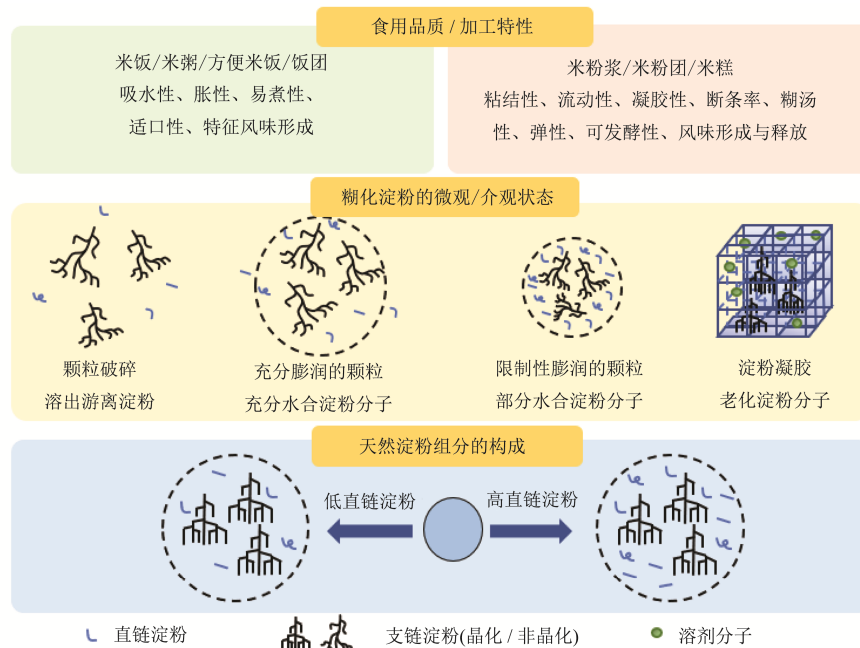


图1 直链淀粉影响大米的加工和食用品质

Fig.1 Amylose affects the processing and edible quality of rice

参考文献

- [1] ChenQian, HeAibin, WangWeiqin, 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: 164-170.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] FU Zhen, LUO Shunjing, Bemiller James N, et al. Effect of high-speed jet on flow behavior, retrogradation, and molecular weight of rice starch [J]. Carbohydrate Polymers, 2015, 133: 61-66.
- [5] Waterschoot Jasmien, Gomand Sara V, Fierens Ellen, et al. Production, structure, physicochemical and functional properties of maize, cassava, wheat, potato and rice starches [J]. Starch-Starke, 2015, 67(1-2): 14-29.
- [6] 刘传菊,李欢欢,汤尚文,等.大米淀粉结构与特性研究进展[J].中国粮油学报,2019,34(12):107-114.
- [7] 吴娜娜,李莎莎,刘明,等.淀粉性质及米粉粒度对米制品品质影响研究进展[J].粮油食品科技,2016,24(1):6-9.
- [8] 卢毅,路兴花,张青峰,等.稻米直链淀粉与米饭物性及食味品质的关联特征研究[J].食品科技,2018,43(10):219-223.
- [9] 周思青,李建飞,张玉荣,等.中晚籼稻谷的品质分析及其米饭加工适应性[J].河南工业大学学报(自然科学版),2018,39(2):1-8,14.
- [10] GB/T 1354-2018,大米[S].
- [11] 王静,毛慧佳,李洪岩.大米淀粉结构与质构品质的研究进展[J].中国食品学报,2020,20(1):1-9.
- [12] 杨柳,郭长婕,梁斌.基于直链淀粉含量的大米食味品质评价[J].现代食品,2019,19:171-174.
- [13] 迟明梅.大米食用品质的研究进展[J].粮食加工,2005,1:48-51.
- [14] 李玥.大米淀粉的制备方法及物理化学特性研究[D].无锡:江南大学,2008.
- [15] Romero-Bastida C A, Bello-Perez L A, Garcia M A, et al. Physicochemical and microstructural characterization of films prepared by thermal and cold gelatinization from non-conventional sources of starches [J]. Carbohydrate Polymers, 2005, 60(2): 235-244.
- [16] LI Hongyan, Gilbert Robert G. Starch molecular structure: The basis for an improved understanding of cooked rice texture [J]. Carbohydrate Polymers, 2018, 195: 9-17.
- [17] 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.
- [18] 魏晓东,张亚东,赵凌,等.稻米香味物质 2-乙酰-1-吡咯啉的形成及其影响因素[J].中国水稻科学,2022,36(2):131-138.
- [19] Jouquand C, Ducruet V, Le Bail P. Formation of amylose complexes with C6-aroma compounds in starch dispersions and its impact on retention [J]. Food Chemistry, 2005, 96(3): 461-470.
- [20] MA Rongrong, TIAN Yaoqi, ZHANG Haihua, et al.

- Interactions between rice amylose and aroma compounds and their effect on rice fragrance release [J]. Food Chemistry, 2019, 289: 603-608.
- [21] Zhou Z K, Blanchard C, Helliwell S, et al. Fatty acid composition of three rice varieties following storage [J]. Journal of Cereal Science, 2003, 37(3): 327-335.
- [22] Yoon Mira, Rico Cathrine W, Koh Heejong, et al. A study on the lipid components of rice in relation to palatability and storage [J]. Journal of the Korean Society for Applied Biological Chemistry, 2012, 55(4): 515-521.
- [23] Park Hyuksang, Xu Song, Seetharaman Koushik. A novel in situ atomic force microscopy imaging technique to probe surface morphological features of starch granules [J]. Carbohydrate Research, 2011, 346(6): 847-853.
- [24] Saibene Debora, Zobel Henry F, Thompson Donald B, et al. Iodine-binding in granular starch: Different effects of moisture content for corn and potato starch [J]. Starch-Stärke, 2008, 60(3-4): 165-173.
- [25] 韩文芳,林亲录,赵思明,等.直链淀粉和支链淀粉分子结构研究进展[J].食品科学,2020,41(13):267-275.
- [26] LI Hongyan, Prakash S, Nicholson TM, et al. The importance of amylose and amylopectin fine structure for textural properties of cooked rice grains [J]. Food Chemistry, 2016, 196: 702-711.
- [27] 徐兴凤,钟业俊,刘成梅,等.米饭气味成分形成途径及影响因素[J].食品工业科技,2013,34(13):378-382.
- [28] TAO Keyu, YU Wenwen, Prakash S, et al. High-amylose rice: Starch molecular structural features controlling cooked rice texture and preference [J]. Carbohydrate Polymers, 2019, 219: 251-260.
- [29] Mariotti M, Sinelli N, Catenacci F, et al. Retrogradation behaviour of milled and brown rice pastes during ageing [J]. Journal of Cereal Science, 2008, 49(2): 171-177.
- [30] Iturriaga Laura B, Lopez de Mishima Beatriz, Anon Maria C. A study of the retrogradation process in five argentine rice starches [J]. LWT - Food Science and Technology, 2009, 43(4): 670-674.
- [31] FU Zongqiang, WANG Lijun, LI Dong, et al. The effect of partial gelatinization of corn starch on its retrogradation [J]. Carbohydrate Polymers, 2013, 97(2): 512-517.
- [32] 刘思含.抑制米饭回生技术研究[D].沈阳:沈阳农业大学, 2017.
- [33] 吕欢欢.常温方便米饭加工工艺研究及品质评价[D].无锡:江南大学,2013.
- [34] 江凌燕.速冻方便炒饭原料适应性及工艺的研究[D].雅安:四川农业大学,2009.
- [35] Khatun Amina, Waters Daniel L E, LIU Lei. A review of rice starch digestibility: Effect of composition and heat-moisture processing [J]. Starch-Stärke, 2019, 71(9-10): 1900090.
- [36] Noda T, Nishiba Y, Sato T, et al. Properties of starches from several low-amylose rice cultivars [J]. Cereal Chemistry, 2003, 80 (2): 193-197.
- [37] Ao Zihua, Simsek Senay, ZHANG Genyi, et al. Starch with a slow digestion property produced by altering its chain length, branch density, and crystalline structure [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2007, 55(11): 4540-4547.
- [38] ZHANG Wei, CHENG Bei, ZENG Xuefeng, et al. Physicochemical and digestible properties of parboiled black rice with different amylose contents [J]. Frontiers in Nutrition, 2022, 9: 934209.
- [39] ZHANG Wei, LIU Yuxuan, LUO Xianli, et al. Pasting, cooking, and digestible properties of Japonica rice with different amylose contents [J]. International Journal of Food Properties, 2022, 25(1): 936-947.
- [40] 罗显莉.不同直链淀粉含量粳米及其制品中淀粉的结构和性质研究[D].武汉:武汉轻工大学,2022.
- [41] 王志颖.大米食味评价及升糖指数的研究[D].武汉:武汉轻工大学,2021.
- [42] SB/T 10652-2012,米饭、米粥、米粉制品[S].
- [43] 信思悦.冷冻五谷方便粥及品质特性研究[D].重庆:西南大学,2020.
- [44] 黄小雨,信思悦,曹桢,等.冻结速率对冷冻五谷方便粥品质的影响[J].食品与发酵工业,2020,46(24):182-189.
- [45] Sim Eunyeong, Lee Jiyeon, Cho Junhyeon, et al. Quality characteristics of porridge made from different Korean rice varieties including high yield tongil-type rice [J]. Korean Journal of Food Preservation, 2018, 25(6): 651-658.
- [46] Lee Kyungha, Woo Koansik, Lee Seuki, et al. Evaluation of quality characteristics of rice to select suitable varieties for porridge [J]. The Korean Journal of Food and Nutrition, 2017, 30(2): 243-250.
- [47] GB/T 31323-2014,方便米饭[S].
- [48] 李瑾,李汴生. α -方便米饭加工工艺及产品品质研究[J].食品工业科技,2008,11:305-308.
- [49] 陈艺煊,张颖.方便米饭抗老化发展现状[J].北京农业,2013, 18:119.
- [50] 李新华,洪玲,吕文彦.不同软米品系对方便米饭品质的影响[J].食品与发酵工业,2011,37(4):145-148.
- [51] 王莉,张新霞,杨晓娜,等.方便米饭原料适应性的因子、聚类分析研究[J].食品工业科技,2015,36(3):109-115.

- [52] 徐秀义,何余堂,马玉芯,等.自热方便米饭的产业现状与发展对策[J].食品与发酵科技,2018,54(5):71-74.
- [53] 杨冰,王莉,王韧,等.方便米饭品质特性与原料适应性的研究[J].食品工业科技,2012,33(16):165-170.
- [54] 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.
- [55] 岳崇慧,刘明,谭斌,等.大米淀粉组成与挤压特性之间的相关性研究[J].粮油食品科技,2016,24(3):1-5.
- [56] 张聪男,薛薇,冯晓宇,等.鲜湿米粉原料加工适应性及配米技术研究[J].中国粮油学报,2021,11:1-7.
- [57] 张兆丽,熊柳,赵月亮,等.直链淀粉与糊化特性对米粉凝胶品质影响的研究[J].青岛农业大学学报(自然科学版),2011,28(1):60-64.
- [58] Varavinit S, Shobsngob S, Varanyanond W, et al. Effect of amylose content on gelatinization, retrogradation and pasting properties of flours from different cultivars of Thai rice [J]. Starch-Starke, 2003, 55(9): 410-415.
- [59] 余世锋,杨秀春, Lucile Menager 等.直链淀粉、蛋白质及脂类对大米粉热特性的影响[J].食品与发酵工业,2009,35(4): 38-42.
- [60] 李琳,陈洁,王远辉,等.大米原料对鲜湿米粉品质影响[J].食品工业,2019,40(6):177-182.
- [61] 徐晓辉.鲜湿米粉原料工艺特性的研究[D].南宁:广西大学, 2014.
- [62] 孟亚萍.挤压米粉加工及品质改良技术研究[D].无锡:江南大学,2015.
- [63] Vanier Nathan Levien, Vamadevan Varatharajan, Bruni Graziella Pinheiro, et al. Extrusion of rice, bean and corn starches: extrudate structure and molecular changes in amylose and amylopectin [J]. Journal of Food Science, 2016, 81(12): 2932-2938.
- [64] 张小明,石春海,富田桂.粳稻米淀粉特性与食味间的相关性分析[J].中国水稻科学,2002,2:60-64.
- [65] 李刚凤.米粉老化的影响因素及其机理研究[D].郑州:河南工业大学,2013.
- [66] Fredriksson H, Silverio J, Andersson R, et al. The influence of amylose and amylopectin characteristics on gelatinization and retrogradation properties of different starches [J]. Carbohydrate Polymers, 1998, 35(3): 119-134.
- [67] 龚红霞.米制品专用稻优良品种筛选及适宜施肥模式研究[D].武汉:华中农业大学,2012.
- [68] 李里特,成明华.米粉的生产与研究现状[J].食品与机械, 2000,3:10-12.
- [69] 高晓旭,佟立涛,钟葵,等.鲜米粉加工专用原料的选择[J].中国粮油学报,2015,30(2):1-5.
- [70] 张慧杰,王步军.影响米粉品质的稻米质量指标分析[J].农产品质量与安全,2020,3:78-81.
- [71] 何新益,刘也嘉.米粉食味品质的力学特性主成分分析[J].粮食与饲料工业,2010,5:25-27.
- [72] 梅小弟.常德米粉原料适应性及生产工艺研究[D].长沙:中南林业科技大学,2016.
- [73] 李红斌,李万芬,詹小卉,等.米浆中直链淀粉含量与方便米粉品质关系的研究[J].食品科技,2005,4:29-31.
- [74] 张明丹,王敏,陈光选,等.老化处理对玉米中淀粉含量及其糊化与消化特性的影响[J].现代食品科技,2021,37(2):129-137.
- [75] 李志航.典型大米制品的质构与消化性能的物质基础研究[D].北京:中国农业科学院,2018.
- [76] Lopez Olivia V, Zaritzky Noemi E, Grossman N Maria V E, et al. Acetylated and native corn starch blend films produced by blown extrusion [J]. Journal of Food Engineering, 2013, 116(2): 286-297.
- [77] 王立,杨懿,钱海峰,等.不同加工方式对淀粉性质的影响[J].食品与生物技术学报,2017,36(3):225-235.
- [78] Le Bail P, Rondeau C, Buleon A. Structural investigation of amylose complexes with small ligands: helical conformation, crystalline structure and thermostability [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2005, 35(1-2): 1-7.
- [79] LI Qi, SHI Shaoxia, DONG Yaoyao, et al. Characterisation of amylose and amylopectin with various moisture contents after frying process: effect of starch-lipid complex formation [J]. International Journal of Food Science and Technology, 2020, 56(2): 639-647.
- [80] 周静舫.面窝加工工艺参数优化及油炸对大米淀粉特性影响研究[D].武汉:华中农业大学,2008.
- [81] 艾志录,陈迪,谢新华,等.棕榈酸、油酸对糯米淀粉热特性的影响[J].食品科学,2013,34(21):20-23.
- [82] Ciesla K, Eliasson A C. DSC studies of retrogradation and amylose-lipid complex transition taking place in gamma irradiated wheat starch [J]. Nuclear Instruments & Methods in Physics Research, 2007, 265(1): 399-405.
- [83] Mohamed S, Hamid N A. Effects of various food components on the expansion, oil absorption and crispiness of fried rice dough [J]. Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science, 1994, 17(1): 7-12.
- [84] Jiamjarivatam Rossaporn, Kongpensook Varapha, Pradipasena Pasawadee. Prediction models for textural properties of puffed rice starch product by relative crystallinity [J]. Journal of Food Quality, 2016, 39(5): 445-455.

- [85] CHEN Long, McClements David Julian, ZHANG Haihua, et al. Impact of amylose content on structural changes and oil absorption of fried maize starches [J]. Food Chemistry, 2019, 287: 28-37.
- [86] Jeong Sungmin, Kwak Jieun, Lee Suyong. Machine learning workflow for the oil uptake prediction of rice flour in a batter-coated fried system [J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2021, 74: 102796.
- [87] LUO Shunjing, XIONG Shaobai, LI Xianbao, et al. Impact of starch-lipid complexes on oil absorption of starch and its mechanism [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2022, 103(1): 83-91.
- [88] Mohamed S, Hamid Na, Hamid Ma. Food components affecting the oil absorption and crispness of fried batter [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 1998, 78(1): 39-45.
- [89] Sajjaanantakul K. Effects of amylose content and frying conditions on characteristic of fried rice chip [C]// Proceedings of 41st Kasetsart University Annual Conference, 2003, 259-267.
- [90] Kithikorn S, Hongprabhas P. Influence of amylose and endosperm proteins on air cell distribution in rice cracker [J]. Asian Journal of Food and Agro-Industry, 2012, 5(4): 345-354.
- [91] 吴亦鸣.油炸糯米糕制作、品质分析及其淀粉油脂复合物的研究[D].合肥:安徽农业大学,2017.
- [92] 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.
- [93] 王锋.自然发酵对大米理化性质的影响及其米粉凝胶机理研究[D].西安:西北农林科技大学,2003.
- [94] 张喻,杨泌泉,吴卫国,等.大米淀粉特性与米线品质关系的研究[J].食品科学,2003,6:35-38.
- [95] 祁攀,鲁静,刘英.大米基本成分与米发糕品质间相关性探讨[J].粮食与饲料工业,2012,3:25-29.
- [96] 张添淇.不同类型大米淀粉酶法支链延长修饰研究及应用[D].无锡:江南大学,2020.
- [97] XIONG Qing, HU Ting, ZHAO Siming, et al. Texture and flavor characteristics of rice cake fermented by *Brettanomyces custersii* ZSM-001 [J]. Journal of Food Science and Technology, 2015, 52(11): 7113-7122.
- [98] 唐溶雪,宋鲁青,李明,等.不同淀粉类原料对青团品质的影响[J].华中农业大学学报,2019,38(5):130-136.
- [99] 胡育铭.影响速冻汤圆粉团蒸煮特性的因素研究[D].郑州:河南工业大学,2014.
- [100] 邵文科,袁梦麒,孙建伟,等.大米粉添加对糯米粉品质及汤圆口感的影响[J].现代食品,2021,2:135-139.
- [101] 周显青,王嫔,张玉荣,等.糯米粉组分对速冻汤圆粉团蒸煮特性的影响[J].粮食与饲料工业,2015,10:21-26.
- [102] SB/T 10377-2004,粽子[S].
- [103] 阮少兰,毛广卿.大米蒸煮品质的研究[J].粮食与饲料工业,2004,10:25-26.
- [104] 余丽琴,熊玉珍,程爱国.早籼优质配合米研究简报[J].江西农业科技,2000,2:13-14.
- [105] 钟斌,周清明.早籼配米配方机理的研究[J].湖南农业大学学报(自然科学版),2001,4:249-253.
- [106] 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.
- [107] 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.