

糙米食用品质提升技术研究进展

Research progress on the improvement of edible quality of brown rice

陈冰洁 乔勇进 刘晨霞

CHEN Bing-jie QIAO Yong-jin LIU Chen-xia

(上海市农业科学院农产品保鲜加工研究中心, 上海 201403)

(Agri-Food Storage and Processing Research Center, Shanghai Academy of
Agriculture Sciences, Shanghai 201403, China)

摘要:从物理和生物等方面介绍了糙米食用品质的主要提升方法、原理及特点;概述了糙米食用品质提升技术在国内外的研究现状与进展。提出将多种技术协同作用应用于糙米食用品质提升中,其中采用发芽技术结合其他技术如超声波、外源酶将成为发展趋势,同时指出目前糙米食用品质提升技术存在的问题。

关键词:糙米;提升技术;食用品质

Abstract: From the physical and biological perspective, the methods, principles and characteristics of technologies of improving the quality of brown rice were introduced in the article. Present status and advance of studies on technologies of edible quality improvement for brown rice were overviewed. Synergy technology is also proposed to apply to the improvement of edible quality of brown rice. Combining other technologies and germination technology would become the development tendency. At the same time, the existing problems in the quality improvement of brown rice are also pointed out.

Keywords: brown rice; improve technology; edible quality

糙米是稻谷脱壳后保留胚芽、糠层和胚乳的全谷米粒,因其米糠层聚集了 60%~70% 的营养物质如膳食纤维、维生素、矿物质,从而较白米有更好的营养价值^[1-3]和保健功能^[4-5]。但因糙米糠皮部分以及种皮中含有较多的植酸盐、纤维素等导致糙米不易煮熟,口感粗糙,影响食味品质及其他食物中矿物质的吸收^[6],因此探究既可以提升糙米食用品质又能较大幅度地保留糙米营养的加工方式非常有必要。日本对糙米加工技术研究较早,且日臻成熟,处于世界先进

水平,各种糙米产品层出不穷,市场认可度较高。中国虽然是稻谷生产和消费第一大国,但现有技术的匮乏及糙米自身品质的粗劣,使得糙米及糙米制品并没得到广泛的认识和食用。探究提升糙米品质新技术、新方法及原有技术的协同作用的研究与开发利用将是糙米食品未来发展方向。

本文旨在总结提升糙米食用品质的主要方法,阐明相关原理及特点,并归纳国内外近些年的糙米食用品质提升技术研究情况,以期为之后的研究与应用提供一定的参考。

1 影响糙米食用品质的主要因素

1.1 吸水性差

糙米籽粒的蜡层能够阻止水分进入淀粉粒,延缓淀粉糊化;糙米所含有的粗纤维导致其吸水性、膨胀性较差,这些都导致糙米的蒸煮时间较长,出饭率低。

1.2 组织结构坚韧

糙米外层含有的纤维素,半纤维素、木质素及胚的外层包有的胚芽鞘、胚根鞘、外胚叶等质地坚韧,一般蒸煮条件下,不易煮熟,咀嚼时有粗渣感,口感较差,难以被人体消化吸收。

2 提升糙米食用品质的技术

2.1 物理法

2.1.1 浸泡法 浸泡是软化糙米组织最简单的方法,较长时间的浸泡可以缩短糙米的烹饪时间,然而,在这个过程中较易被微生物污染。Zhang 等^[7]使用微酸性电解水浸泡糙米可减少微生物,并且不会产生不利影响,甚至能提升糙米的品质。温水浸泡可以缩短浸泡时间,且浸泡温度越高,吸水速率越快。高温浸泡(90℃)可将残留蛋白质水解成游离氨基酸,如:γ-氨基丁酸和丝氨酸,产生了更好的营养品质^[8]。然而,高温浸泡易导致糙米可溶性固形物的损失及糙米饭颜色的加深,同时由于内外部吸水膨胀速率不同,爆腰率大幅度增强。所以在实际操作中浸泡温度一般在 50~60℃,时

基金项目:上海市科技兴农推广项目(编号:沪农科推字〔2018〕第 1-1 号);上海市农产品保鲜加工专业技术服务平台(编号:18DZ2291300)

作者简介:陈冰洁,女,上海农业科学院研究实习员,硕士。

通信作者:乔勇进(1967—),男,上海农业科学院研究员,博士。

E-mail: yjqiao2002@126.com

收稿日期:2018-08-29

间为 4 h,浸泡法由于耗时长、效率低、产品品质差,单独使用较少,多被用于其他技术的前处理。

2.1.2 超微粉碎法 研究发现,随着超微粉碎强度的增加,糙米粒径由 17 μm 下降到 1 μm 淀粉颗粒破碎、断裂形成更多的无规则小碎片,从而导致糙米粉的吸水指数上升,糊化温度下降。超微粉碎可以提升糙米粉的性质,使其具有良好的溶解性、分散性、吸附性,为制作良好的糙米制品提供基础,然而糙米的营养物质大部分集中在米糠上,粉碎破坏了糙米完整的结构形状,易造成营养成分流失。

2.1.3 碾削法 糙米的碾削是通过去除糊粉层来增加糙米吸水性能的过程。研究发现糙米研磨程度与糙米吸水率、体积膨胀率呈正相关,与糙米蒸煮时间及硬度呈负相关^[9]。Simth 等^[10]发现当碾削率为 1%时,发芽糙米的吸水率大大提高,米饭口感好。当糙米研磨率为 9%时,钙、铜、锌和硒的损失相对较低^[11],但糙米的维生素及矿物质等营养物质会随着糙米皮层碾削程度的加深而损失严重,大部分集中于米糠层的抗氧化、降血压、降血脂等生物活性物质也会流失,造成资源的极大浪费,因此采用碾削法改善糙米品质时,要注意碾削的程度,这无疑增加了操作的难度,对设备精确度要求较高,成本较大。

2.1.4 挤压膨化法 挤压膨化技术是目前公认的较为理想的食品加工技术,在高温、高压、高剪切力的条件下,食品物料特性发生变化,淀粉糊化、降解;蛋白质变性、重组;纤维变性、细化^[12]。林雅丽等^[13]发现糙米经挤压后蒸煮时间降低,吸收率和渗透率提高。马永轩等^[14]进一步研究发现糙米挤压膨化后其水溶性指数和吸水性指数分别提高了 5.40,1.45 倍,总的膳食纤维和不溶性膳食纤维降低,可溶性膳食纤维含量增加。Wang 等^[15]得出在 120 $^{\circ}\text{C}$ 挤出温度和 120 r/min 的螺杆速度下生产的米食具有最佳品质,糙米粉的品质与其他无麸质米粉相似。挤压膨化技术能最大程度地保留糙米的营养价值,操作简单、资金投入低、对环境污染性少,和其他生化方法相比,安全性更高,是一种具有较好应用前景的糙米加工技术。

2.1.5 超声波技术 超声波处理产生的强剪切力、高温和自由基改变淀粉的结构和性质^[16],也可以通过改变纤维素的形态结构来促进水分短时(约 360 s)吸收^[17]。研究^[18]发现经 16 kHz/2 000 W 的超声波于 25 $^{\circ}\text{C}$ 处理 30 min,糙米皮层结构较完整,硬度降低、弹性和咀嚼性提高,感官评分要高于未处理的。Park 等^[19]发现充分水合的糙米对超声波更敏感,经 400 kHz/185 W 的超声波于 50 $^{\circ}\text{C}$ 处理 60 min 的糙米的硬度与浸泡 8 h 超声波于 50 $^{\circ}\text{C}$ 处理 60 min 的精米一样。利用超声波处理糙米目前还在实验室初级研究阶段,存在声场分布不均、超声噪音过大、放大工艺匮乏和糙米风干过程繁杂等一系列问题,所以在实际生产过程中工业化应用较少。

2.1.6 红外辐射技术 红外辐射法是利用红外辐射使糙米升温,金建等^[20]发现经红外处理后,糙米表面有小孔和细纹的形成,淀粉颗粒变得比较圆滑,这些都揭示红外预处理能

够提升糙米的通透性,提高糙米的蒸煮特性。姚豪杰等^[21]证实经 385 $^{\circ}\text{C}$ 红外辐照温度下处理 6 min,糙米细胞膜系统受损,通透性增加;淀粉颗粒暴露,黏度整体呈上升趋势。红外技术对糙米食用品质的影响目前还处在实验室初级研究阶段,但也为糙米制品的发展提供了一个新的思路。

2.1.7 微波技术 微波作为非电离能,主要是通过交变电磁场中的“分子摩擦”在穿透介质内部产生热量。微波辐射可诱导淀粉颗粒内结晶区域的重排导致吸水能力,溶胀能力和糊状黏度变化。在微波改性处理糙米的最佳工艺(微波功率 2 400 W、微波时间 75 s、初始水分含量 14.5%)条件下,陈培栋等^[22]得出糙米饭硬度为 2 865.85 g,吸水率为 56.96%,糙米蒸煮品质明显提升。微波处理加热迅速、均匀、对营养成分影响小、动力消耗小、操作简单,是一种应用前景较好的糙米加工技术,但目前也存在一些技术瓶颈,如微波设备的稳定性尚有欠缺、缺乏商业规模,所以目前尚在实验室初级研究阶段。

2.1.8 辐照技术 辐射技术作为一种“冷杀菌”技术,主要是利用放射性元素产生的射线和电子加速器产生的电子束对物体进行加热,已有很多研究表明 γ 辐射处理后淀粉溶解度、结晶度和吸水能力都增加。Mir 等^[23]将糙米暴露于⁶⁰Co 源,发现随着照射剂量的增加,糙米硬度和糊化特性均显著降低。陈银基等^[24]发现 0.5~2.0 kGy 辐照剂量可显著改善糙米蒸煮品质,同时进一步证实糙米经辐照后淀粉结构被修饰,加速蒸煮时水分渗入,且 0.5 kGy 的辐照剂量处理后,糙米的硬度显著下降($P<0.05$)^[25]。辐照技术处理糙米不仅可以延长保质期,同时改善糙米品质,但辐照剂量控制要严格,一般不应超过 10 kGy,如果辐照剂量过大,糙米颜色会加深,更严重的会改变分子结构,从而会危害食用者的身体健康,诱发疾病。

2.1.9 等离子体技术 等离子体是由处于基态和激发态的活跃粒子如电子、离子、自由基和原子等组成,通过施加能量发生电离,电子通过碰撞反过来将能量传递给物质,导致解离和激发状态。随着研究的深入,等离子体技术已扩展到食品保鲜及食品加工方面,研究发现低压等离子体处理有利于减少糙米烹饪时间,处理后的糙米的蒸煮与未处理相比质地变软。Thirumdas 等^[26]用功率 50 W 的等离子体处理 10 min 后糙米烹饪时间从 29.1 min 显著降低到 21.1 min,吸水量从 2.2 g/g 增加到 2.36 g/g,硬度从 40 N 降低到 30 N。Chen 等^[27]用电压 1,2,3 kV 的等离子体处理糙米 30 min,发现电压越大,糙米的蒸煮时间越少,3 kV 时蒸煮时间由 24.7 min 降低到 11 min,但等离子体对糙米硬度和黏度影响不大。这与 Thirumdas 等^[26]的研究不符,可能是受糙米品种影响,由此得出等离子体存在不适应于所有品种的缺陷。

2.1.10 高温流化法 高温流化法主要是利用在流化干燥过程中糙米颗粒内外的水分梯度导致谷物内部产生抗压应力,造成裂缝,从而影响糙米的形状和质地特性^[28]。苏勋^[29]证实经 130 $^{\circ}\text{C}$ 高温流化处理 60 s,发芽糙米吸水能力增强,米饭硬度降低,食味品质显著提高。卜玲娟等^[30]采用 130 $^{\circ}\text{C}$

高温流化技术处理糙米 60 s,发现糙米饭变得更柔软,综合评分显著提升。高温流化产生的裂纹仅出现在糙米表面,没有深及米粒内部,不易形成碎米,且具有耗时短、能耗低、加热温度高、设备简单的特点,有利于在生产上的实际应用。但如果高温流化技术处理条件控制不当,也会造成处理过度而破坏糙米内部结构^[31],所以目前高温流化技术温度一般设置在 120~130 ℃,时间 60 s 左右。

2.1.11 冻融法 冻融法可以使食品产生高孔隙率,能够较大限度保持食品的色、香、味,被认为是加工热敏感的高价值产品的先进方法之一。张言秋等^[32]通过扫描电镜试验证实冷冻后糙米表面有裂痕产生且糙米内部淀粉颗粒之间缝隙增大。宋敏等^[33]研究发现,糙米经过-23 ℃冷冻 1 h,再在 40 ℃解冻 30 min,如此循环 3 次,可使糙米吸水率增加,食用品质得到明显提升。但在冷却-加热处理期间会导致温度突然变化,使糙米在烹饪过程中易破碎,外观品质变差,所以目前采用冻融法处理较少。

2.1.12 高静水压技术 高静水压技术又称超高压技术,在过去的 20 年里已成为替代传统热处理的一种非热食品加工方法,避免了高温和长时间加热,仅仅破坏非共价键,能最大限度地保留食品营养价值、色泽、风味和香味^[34]。高压处理破坏米糠层的结构使得水分更易渗透到米粒中,此外,与单循环高压相比,两循环高压处理的糙米具有更浅的颜色和更柔软的质地^[35]。Yu 等^[36]研究发现与传统浸泡处理相比,预浸高静水压力处理能显著缩短糙米的烹饪时间,并且糙米的硬度与白米的硬度相似,在 500 MPa 以上的压力下,糙米的胶黏度和弹性显著降低。超高压技术具有巨大的糙米应用潜能,但存在成本高、效率低和稳定性差等缺点,因此市场推广应用存在困难。

2.2 生物法

2.2.1 发芽法 发芽法是将糙米经过发芽至适当芽长的过程,在此期间糙米的酶系统启动,将大分子物质如蛋白质、淀粉和非淀粉多糖分解成小分子物质,从而引起糙米营养和生理以及质地特征的显著变化^[37]。研究^[38]表明发芽时间越长,糙米的硬度越低,通过 12 h 浸泡和 25 h 生长,糙米硬度从 46 kg 降低到 30 kg,质地和精米没区别。Cho 等^[39]和 Swati 等^[40]总结得出发芽糙米不仅具有良好的消化性和吸收性,并且与糙米相比,提供更多的甜味,质地更好。Wu 等^[41]通过研究发现与糙米香味相关的总挥发物、大部分脂质氧化产物和酚类化合物在发芽后期均显著增加。近些年发芽糙米技术发展迅速,工艺方法的改进、爆腰率的降低、功能性成分的提高都为糙米品质的提升提供更好的发展方向。但发芽糙米产品价格昂和口感欠佳仍是糙米普遍推广的障碍,同时,发芽糙米生产工艺较繁琐、生产周期较长、生产成本较高,所以需要多种技术协同作用。

2.2.2 发酵法 发酵法主要是利用微生物在发酵过程中产生的酶破坏皮层结构的完整性及内部组织连接的致密性,从而提升吸水性能,降低硬度。研究^[42]发现通过发酵制成的米糠食品在风味、口感及营养上都有较大的改善。Katina

等^[43]表明用酵母和乳酸菌发酵谷物可以减轻麸皮的负面影响,改善全麦和黑麦面包的质地、风味和结构。程鑫等^[44]利用接种量为 0.10%乳酸菌 30 ℃发酵 24 h 发现糙米蒸煮时间缩短 6.46 min,吸水率增加了 25.18%,米饭硬度降低了 29.63%。近年来随着发酵工艺的改善及发酵设备的提升,通过发酵提升糙米感官品质的探究已成为关注的焦点,但该技术处理的糙米还需进行二次杀菌,存在程序复杂、时间长、成本高等问题。

2.2.3 酶处理法 糙米表层含有大量的纤维素、半纤维素及果胶物质,相关酶处理能将这些物质部分或全部降解,从而提升糙米的食用品质,降低糙米的蒸煮糊化温度^[45]。刘志伟等^[46]通过分析发现几种酶对糙米食用品质作用效果为:复合果胶酶<纤维素酶<混合酶(纤维素酶和复合果胶酶),且混合酶处理的糙米品质优于发芽糙米。Das 等^[47]使用木聚糖酶和纤维素酶减少糙米烹饪时间(30 min),增加糙米的吸水率(2.8 倍),但与白米相比(烹饪时间 18 min,吸水率 3.6 倍)还存在一定差距。同时,酶处理法必须添加专一性的催化剂并需在特定 pH 值下反应,此外酶促反应速率和时间不易控制,因此需要进一步深入研究,不断尝试才能应用于工业化生产。

2.3 协同作用

单一的提升技术并不能解决实际需要,目前多采用两种或两种以上的提升技术协同发挥作用,以便提高糙米品质,提升市场价值。

研究^[48]发现在超声强度 17.33 W/cm²下处理 30 min 时观察到纤维素酶活性最大,酶活性比未处理的增加约 25%。Zhang 等^[49]表明超声波-纤维素酶处理导致米糠的自然形态受损,使水分更易渗透到米粒,蒸煮后的糙米呈现出更柔软的质地,更容易咀嚼。在发芽糙米浸泡过程中添加外源酶与发芽时激活内源酶协同作用来处理发芽糙米,可以使糙米皮层疏松多孔,明显改善适口性^[50],同时,还可以通过进一步碾磨来提高发芽糙米的适口性。综上所述,协同作用能有效提升糙米食用品质。

3 结论与展望

近年来,随着社会的发展和人们生活水平的普遍提高,对食品的需求已经不再是停留在最初简单的温饱层次,而是上升到“吃出健康”的高层次。与精米相比,糙米较大程度上实现全营养保留,营养价值受到学者和广大消费者的肯定。2011~2020 年国家粮食加工业发展规划中明确提出,要大力开发全谷物健康食品,特别强调要加快对发芽糙米、速食糙米等食品的加工技术研究。中国糙米的开发应用起步较晚,面临以下问题需要攻关:

- (1) 相关政府做好表率作用、科研机构争当排头兵,营养健康机构做好先行者,社会媒介与有关专家共同携手,广泛开展糙米食品健康消费方面的宣传与教育,努力促进糙米食品产业发展。
- (2) 目前,已有多种新型的糙米品质提升技术兴起,如高静水压、等离子体技术、辐照和微波等对改善糙米品质都

有效果。但是,目前国内外仍缺乏相应的设备与技术支持,所以整体发展比较慢。研究并创新糙米品质提升技术,不仅能有效提高糙米品质、保留糙米原有的营养价值,同时要与实际生产相结合,达到易于操作、效率高、成本低的特点,这样才具有重要的社会和经济价值。

(3) 目前提升糙米食用品质主要采用发芽法和挤压膨化法。但挤压膨化后糙米特性发生改变,淀粉糊化,蛋白变性,失去原有的状态,并不太适用于糙米主食化方向。发芽法近年来发展迅速,但发芽糙米仍存在着口感粗糙、食味不佳的问题。根据协同作用,在发芽过程中加入生物技术(外源酶)、物理方法(超声波)等科技手段,逐个攻克难关,以达到最佳的提升效果。这种联用提升糙米品质技术更为安全、合理、全面,今后有望成糙米主要的提升方式之一,为消费者提供具有市场竞争力的糙米食品。

参考文献

[1] CHO D H, LIM S T. Germinated brown rice and its bio-functional compounds[J]. Food Chemistry, 2016, 196: 259-271.

[2] 谢舒乐, 吴凤凤, 蔡群, 等. 糙米食品加工与利用的研究进展[J]. 粮食与食品工业, 2018, 25(1): 1-6.

[3] KUMAR S, MOHANRAJ R, SUDHA V, et al. Perceptions about varieties of brown rice: aqualitative study from Southern India[J]. Journal of American Dietetic Association, 2011, 11 (10): 1 517-1 522.

[4] YANG Seung-ok, WU Chun-yan, SO Min-young, et al. Effects of brown rice on cellular growth and metabolic changes in mice[J]. Food Research International, 2016, 84: 33-40.

[5] WU Peng, DENG Ren-pan, WU Xue, et al. In vitro gastric digestion of cooked white and brown rice using a dynamic rat stomach model[J]. Food Chemistry, 2017, 237: 1 065-7 072.

[6] 王立, 段维, 钱海峰, 等. 糙米食品研究现状及发展趋势[J]. 食品与发酵工业, 2016, 42(2): 236-243.

[7] ZHANG Chun-ling, XIA Xiao-dong, LI Bao-ming, et al. Disinfection efficacy of electrolyzed oxidizing water on brown rice soaking and germination[J]. Food Control, 2018, 89: 38-45.

[8] HAN Jung-ah, LIM Seung-taik.Effect of Presoaking on textural, thermal, and digestive properties of cooked brown rice[J]. Cereal Chemistry, 2009, 86(1): 100-105.

[9] MOHAPATRA D, BAL S. Cooking quality and instrumental textural attributes of cooked rice for different milling fractions[J]. Journal of Food Engineering, 2006, 73(3): 253-259.

[10] SMITH D A, RAO R M, LIUZZO J A, et al. Chemical treatment and process modification for producing improved quick-cooking rice [J]. Journal of Food Science, 2010, 50 (4): 926-931.

[11] LIU Kun-lun, ZHENG Jia-bao, CHEN Fu-sheng. Relationships between degree of milling and loss of Vitamin B, minerals, and change in amino acid composition of brown rice[J]. LWT-Food Science and Technology, 2017, 82: 429-436.

[12] 胡玉华, 郭祯祥, 王华, 等. 挤压膨化技术在谷物加工中的应用[J]. 粮食与饲料工业, 2014, 12(12): 37-39.

[13] 林雅丽, 张晖, 王立, 等. 挤压对糙米中淀粉理化性质的影响[J]. 现代食品科技, 2016, 32(12): 254-259.

[14] 马永轩, 张名位, 魏振承, 等. 挤压膨化对大米和糙米理化与营养特性的影响[J]. 食品研究与开发, 2017, 38(12): 9-12.

[15] WANG Li, DUAN Wei, ZHOU Su-mei, et al. Effects of extrusion conditions on the extrusion responses and the quality of brown rice pasta[J]. Food Chemistry, 2016, 204: 320-325.

[16] CUI Lu, PAN Zhong-li, YUE Tian-li, et al. Effect of ultrasonic treatmet of brown rice at different temperatures on cooking properties and quality[J]. Cereal Chemisty, 2010, 87 (5): 403-408.

[17] ZHU Fan. Impact of ultrasound on structure, physicochemical properties, modifications, and applications of starch[J]. Trends in Food Science & Technology, 2015, 43(1): 1-17.

[18] 王周利, 冯艳芸, 岳田利, 等. 槽式超声波处理对糙米理化特性与感官品质的影响[J]. 农业机械学报, 2016, 47 (12): 265-270.

[19] PARK Dong-june, HAN Jung-ah. Quality controlling of brown rice by ultrasound treatment and its effect on isolated starch[J]. Carbohydrate Polymers, 2016, 137: 30-38.

[20] 金建, 马海乐, 闫景坤, 等. 红外预处理提升糙米品质的研究[J]. 食品工业科技, 2014, 35(18): 128-131.

[21] 姚豪杰. 糙米催化式红外辐射储藏与挤压膨化技术研究[D]. 镇江: 江苏大学, 2017: 15-20.

[22] 陈培栋, 万忠民, 王胜录, 等. 响应面法优化糙米微波改性工艺[J]. 食品工业科技, 2018, 39(6): 152-158.

[23] MIR S A, BOSCO S J D, SHAH M A, et al. Effect of gamma irradiation on physicochemical properties of brown rice[J]. International Journal of Food Engineering, 2015, 11 (4): 563-571.

[24] 陈银基, 陈霞, 蒋伟鑫, 等.⁶⁰Co- γ 辐照处理对低温储藏糙米品质及微结构的影响[J]. 中国农业科学, 2014, 47(11): 2 214-2 223.

[25] 陈银基, 陈霞, 蒋伟鑫, 等.⁶⁰Co- γ 辐照对贮藏糙米理化品质和食用品质的影响研究[J]. 中国粮油学报, 2015, 30(5): 106-110, 121.

[26] THIRUMDAS R, SARAGAPANI C, AJINLCYA M T, et al. Influence of low pressure cold plasma on cooking and textural properties of brown rice[J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2016, 37: 53-60.

[27] CHEN Hua-han. Investigation of properties of long-grain brown rice Treated by low-pressure plasma[J]. Food and Bioprocess Technology, 2014, 7(9): 2 484-2 491.

[28] SRISANG N, PRACHAWARAKORN S, VARANYANOND W, et al. Germinated brown rice drying by hot air fluidization technique[J]. Drying Technology, 2010, 29(1): 55-63.

[29] 苏勋. 高温流化改良发芽糙米蒸煮食用品质的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2017: 19-32.

[30] 卜玲娟, 李永富, 王莉, 等. 高温流化对糙米蒸煮和食用品质的影响[J]. 中国粮油学报, 2017, 32(4): 1-5.

[31] SRISANG N, VARANYANOND W, SOPONRONNARIT S, et al. Effects of heating media and operating conditions on

drying kinetics and quality of germinated brown rice[J]. Journal of Food Engineering, 2011, 107(3/4): 385-392.

[32] 张言秋, 杜先锋. 冷冻处理对糙米水分迁移以及微观结构的影响[J]. 安徽农业大学学报, 2017, 44(4): 563-566.

[33] 宋敏, 杨志明, 王兆刚, 等. 冻融法提升糙米食味品质的研究[J]. 粮食与油脂, 2015, 28(3): 45-47.

[34] YAMAKURA M, HARAGUCHI K, OKADOME H, et al. Effects of soaking and high-pressure treatment on the qualities of cooked rice[J]. Journal of Applied Glycoscience, 2005, 52: 85-93.

[35] YU Yong, PAN Fang, RAMASWAMY H S, et al. Effect of soaking and single/two cycle high pressure treatment on water absorption, color, morphology and cooked texture of brown rice[J]. Journal of Food Science and Technology, 2017, 54(6): 1 655-1 664.

[36] YU Yong, GE Ling-yan, ZHU Song-ming, et al. Effect of pre-soaking high hydrostatic pressure on the cooking properties of brown rice[J]. Journal of Food Science and Technology, 2015, 52(12): 7 904-7 913.

[37] CHO Dong-hwa, LIM Seung-taik. Changes in phenolic acid composition and associated enzyme activity in shoot and kernel fractions of brown rice during germination[J]. Food Chemistry, 2018, 256: 163-170.

[38] JIAMYANGYUEN S, OORAIKUL B. The physico-chemical, eating and sensorial properties of germinated brown rice[J]. Journal of Food, Agriculture Environment, 2008, 6(2): 119-124.

[39] CHO Dong-hwa, LIM Seung-taik. Germinated brown rice and its bio-functional compounds[J]. Food Chemistry, 2016, 196: 259-271.

[40] SWATI Bhaso-patil, MD Khalid-khan. Germinated brown rice as a value added rice product: A review[J]. Journal of Food Science and Technology, 2011, 48(6): 661-667.

[41] WU Feng-feng, YANG Na, CHEN Hai-ying, et al. Effect of germination on flavor volatiles of cooked brown rice[J]. Cereal chemistry, 2011, 88(5): 497-503.

[42] SAMAN P, FUCINOS P, VAZQUEZ J A, et al. Fermentability of brown rice and rice bran for growth of human Lacto-bacillus plantarum NCIMB 8826[J]. Food Technology and Biotechnology, 2011, 49(1): 128.

[43] KATINA K, ARENDT E, LIUKKONEN K, et al. Potential of sourdough for healthier cereal products[J]. Trends Food Sci Technol, 2005, 16: 104-112.

[44] 程鑫, 李永富, 史锋, 等. 乳酸菌发酵对糙米蒸煮性能和食用品质的影响[J]. 中国粮油学报, 2018, 33(5): 1-7.

[45] DAS M, BANERJEER, BAL S. Evaluation of physicochemical properties of enzyme treated brown rice: Part B[J]. LWT-Food Science and Technology, 2008, 41(10): 2 092-2 096.

[46] 刘志伟, 林蓓蓓, 蓝小花, 等. 外源酶提升糙米食味品质的研究[J]. 食品科技, 2011, 36(5): 156-159.

[47] DAS M, GUPTA S, KAPOOR V, et al. Enzymatic polishing of rice-a new processing technology[J]. LWT- Food Science and Technology, 2008, 41(10): 2 079-2 084.

[48] SUBHEDAR P B, GOGATE P R. Enhancing the activity of cellulase enzyme using ultrasonic irradiations[J]. Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic, 2014, 101: 108-114.

[49] ZHANG Xin-xia, WANG Li, CHENG Ming-yi, et al. Influence of ultrasonic enzyme treatment on the cooking and eating quality of brown rice[J]. Journal of Cereal Science, 2015, 63: 140-146.

[50] 龙杰, 尚微微, 吴凤凤, 等. 纤维素酶处理对发芽糙米复配方便米饭食用品质的影响[J]. 粮食与食品工业, 2018, 25(1): 32-37.

(上接第 85 页)

5 结论

本设计通过对用户使用行为的研究,进行用户需求定位及设计需求转化,证实了从用户行为触点出发的可行性,填补了对用户行为触点量化的空白,通过对触点优先级的排序精准指出设计方向。在面对激烈的市场竞争时,对用户行为触点的研究能够激发设计师的创意产出,有效地缩减项目用时,以达到增加设计效率的目的,精准抓住用户的核心诉求。

参考文献

[1] BROWN T. Design thinking [J]. Harvard Business Review, 2008, 86(6): 84-92.

[2] 王伟伟, 黄琳. 面向老年人群的参与式产品设计方法[J]. 机械设计, 2016, 33(7): 117-120.

[3] 张宁, 李亚军. 用户行为数据驱动的设计研究: 以老龄洗衣产品为例[J]. 装饰, 2016(5): 132-133.

[4] WILKINSON C R, ANGELI A D. Applying user centred and participatory design approaches to commercial product development[J]. Design Studies, 2014, 35(6): 614-631.

[5] VIJAY Kumar, PATRICK Whitney. Daily life, not markers: customer-centered design [J]. Journal of Business Strategy, 2007, 28: 46-58.

[6] 纳普, 泽拉茨基. 设计冲刺: 谷歌风投团队如何 5 天完成产品迭代[M]. 魏瑞莉, 译. 杭州: 浙江大学出版社, 2016: 312-336.

[7] 林丽, 阳明庆, 张超, 等. 产品情感研究及情感测量的关键技术[J]. 图学学报, 2013, 34(1): 122-127.

[8] 胡颖. 基于儿童认知的医疗用品包装创新设计[J]. 湖南包装, 2017(4): 83-86.

[9] 梁嘉, 熊青珍. 儿童产品开发的创意性需求设计研究[J]. 包装工程, 2014(18): 68-70.

[10] 杨萍. 儿童食品包装设计的安全性、趣味性与人性化[J]. 食品与机械, 2016, 32(9): 99-101.

[11] 吴剑斌, 陈香, 张凌浩. 儿童产品造型语义模糊评价[J]. 机械设计, 2018(2): 124-128.