

DOI: 10.13652/j.spjx.1003.5788.2022.90220

生物加工与非热加工对谷物及杂豆酚类物质影响的研究进展

Research progress on the effect of biological and non-thermal processing on the content of phenolic compounds and antioxidant activity in cereals and miscellaneous beans

马占倩^{1,2} 翟小童² 谭 斌^{1,2}

MA Zhan-qian^{1,2} ZHAI Xiao-tong² TAN Bin^{1,2}

(1. 哈尔滨商业大学食品工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150076;

2. 国家粮食和物资储备局科学研究院, 北京 100037)

(1. School of Food Engineering, Harbin University of Commerce, Harbin, Heilongjiang 150076, China;

2. Academy of National Food and Strategic Reserves Administration, Beijing 100037, China)

摘要:生物加工和非热加工处理在改善谷物及杂豆类食品的食用品质的同时,可显著增加其中酚类物质的含量及抗氧化活性。研究系统综述了生物加工和非热加工对谷物及杂豆酚类物质及其抗氧化活性的影响,并展望今后谷豆加工深入发展的重点探究思路。

关键词:生物加工;非热加工;谷物;杂豆;酚类物质;抗氧化活性

Abstract: Bioprocessing and non-thermal processing can improve the quality of cereals and miscellaneous beans, which significantly increase the content of phenols and antioxidant activities. This study systematically reviewed the effects of bioprocessing and non-thermal processing on phenolic compounds and antioxidant activities of cereal and soybean, and prospected the key research ideas for further development of cereal and soybean processing.

Keywords: biological processing; non-thermal processing; cereals; miscellaneous beans; phenolics; antioxidant activity

研究^[1]表明谷物及杂豆中富含多种生理活性成分,如酚类物质、植物雌激素、植物甾醇和一些微量元素等。酚类物质作为自然存在的一类植物性化学成分,多年来因其具有对机体有益的抗氧化作用而备受关注^[2]。酚类物质和膳食纤维等活性成分多存在于谷物及杂豆的皮层中,但也是因为皮层的存在,导致对谷物及杂豆类食品

的加工品质和食用品质产生不利影响。通常,谷物、杂豆类等粮食食品需经过加工处理后食用,但加工过程中常伴随着酚类物质的释放、降解和合成等反应,使得谷物及杂豆中的酚类物质结构和含量发生改变,从而影响其营养品质。不同的加工方式对谷物及杂豆中酚类物质的影响有所不同。研究^[3]表明传统热处理方式会造成酚类物质的降解流失,影响其营养价值。选择适当的处理方法不仅可以有效提高谷豆的质地结构、改善食用品质,还可以促进机体对酚类物质等活性成分的吸收与利用,从而推动健康谷豆食品的开发与市场化进程。

近些年,一些生物加工和非热加工方式因能较大幅度地改善产品色泽、口感并保留谷物和杂豆类食品原有的营养成分而受到重视。生物加工技术主要包括微生物发酵、萌芽和生物酶辅助等方式。“新型非热加工”一词常用于指定具有灭活微生物能力的技术,如脉冲电场、超高压、紫外线照射和低压等离子体辉光技术等,具有处理温度低、处理时间短、节能环保和效率高等优点。大量研究^[4-5]表明谷物和杂豆经过适当的生物加工处理后不仅能显著提高其制品的营养价值、增加其在人体中的消化吸收,而且还能改善其食用品质和风味、增强其功能活性等。同样,与热加工相比,非热加工处理不仅可以明显降低加工过程中酚类物质的损失,还可以灭活谷物、杂豆中的微生物和腐败酶,延长其货架期。然而,从谷物及杂豆涉及的加工方式来看,目前多集中于研究单一热处理、物理方式对酚类物质的影响,而其他研究方式较少,且系统地比较各种加工方式之间酚类变化差异的研究较少。因此,拟对谷物及杂豆酚类物质在不同生物加工(浸泡、萌

基金项目:国家自然科学基金项目(编号:31972113)

作者简介:马占倩,女,哈尔滨商业大学在读博士研究生。

通信作者:谭斌(1972—),男,国家粮食和物资储备局科学研究院研究员,博士。E-mail: tb@ags.ac.cn

收稿日期:2022-02-19

芽、微生物发酵)和非热处理方式[高压脉冲电场(PEF)、超高压、紫外线辐射(UV)和低压等离子体辉光技术]中的变化以及如何更好地保留酚类物质对营养健康领域具有的意义进行研究,以期为提高全民健康和促进营养保健食品的开发利用提供理论依据。

1 酚类物质

酚类物质是一种含有一个或多个羟基的芳香环化合物。常见的酚类物质包括类黄酮、花青素、酚酸及其醛类等,其中酚酸含量最为丰富,且主要来自羟基苯甲酸和羟基肉桂酸^[6]。研究发现酚类物质在稻米、小麦、玉米及其他杂粮类谷物中的含量较为丰富,尤其是在种皮部位^[7],以自由态、可溶共轭态和结合态等形式存在,且以结合态为主^[8]。酚类物质对人体健康有诸多有益作用。大量流行病学研究表明,酚类物质具有抗氧化、抗炎、抗高血压以及对结肠癌、乳腺癌、肺癌和肝癌等几种癌症的化学预防作用^[9-12]。大量研究^[13-14]证实,分布在谷物糠层的酚类物质还可降低患心血管疾病、2型糖尿病和肥胖等慢性疾病的风险,并在抑制胆固醇氧化方面发挥重要作用。有临床研究报告表明谷物酚类物质可以增加肠道微生物的多样性,提高有益菌(双歧杆菌、乳酸杆菌等)的相对丰度,更好地构建健康的宿主肠道微生态环境^[15],且能对包括焦虑、抑郁在内的精神障碍性疾病具有重要保护作用^[16]。

2 生物加工和非热加工对谷物及杂豆酚类物质含量及抗氧化活性的影响

2.1 生物加工

利用微生物发酵、发芽等形式对谷物及杂豆进行加工,其本质是利用微生物酶和植物内源酶的作用改变谷物及杂豆的结构和组成,改善其制品的加工性能及功能活性。不同的生物加工方法、工艺条件对谷物及杂豆营养成分及功能活性的影响不同。探究不同生物加工方式对谷物及杂豆中酚类物质含量及其抗氧化活性的影响,不仅可为满足消费者对于营养健康食品的需求提供基础研究支撑,还可为新型功能性食品的研发和谷豆资源的高值化利用提供一定的理论指导。

2.1.1 浸泡 浸泡处理是一种较为方便简单的加工方式,同时常被作为生物加工的重要前处理环节。全谷物籽粒本质是休眠的种子,通过浸泡可修复干燥籽粒皱缩的细胞膜,修复受损的细胞器,恢复全谷物籽粒活性。

浸泡处理可影响谷物及杂豆中酚类物质的含量及抗氧化活性,不同试剂浸泡可通过导致酚类物质分子体积增大破裂,分子结构发生改变,又或是加强酚类物质分子间的互作效应,从而改变酚类物质含量及其性质^[6,10]。孙丹等^[17]室温浸泡苦荞发现苦荞总酚、总黄酮含量升高超过25%,抗氧化活性(DPPH·、ABTS·、FRAP)显著

提高。同样,绿豆浸泡12 h后其总酚和总黄酮含量迅速增加^[18]。浸泡过程激活植物中的多种酶,使结合态酚类物质水解成游离态,从而增加可提取酚类物质的含量。浸泡还可促进酚类物质分子的流动性,增强与其他分子间的互作,提高酚类物质含量及其抗氧化活性。但有研究^[19-22]表明,室温浸泡可使高粱、鹰嘴豆、蚕豆、绿豌豆、黄豌豆和小扁豆中酚酸、黄酮类化合物和抗氧化活性下降。这是因为浸泡可使部分可溶性酚类物质溶于水中流失,或使分子内部结构发生改变,从而使酚类物质含量及其抗氧化活性降低。总之,浸泡处理对谷物及杂豆中的酚类物质来说是一个酚类物质单体有增有减的动态过程,仅利用单一的浸泡条件观察对酚类物质的影响,其研究层面不够深入,建议结合其他加工方式进行联合研究。

2.1.2 萌芽 萌芽是将种子浸泡在水中直至发芽的过程,在发芽过程中,种子代谢机制的重新激活导致胚根和胚芽的出现。种子在一定时间内萌发,其水解酶活性增加,进一步分解淀粉、纤维和蛋白质等主要化合物,从而改善其营养品质^[23]。另外,种子经过萌发后,一些芳香环和羧基断裂并重聚合,使得重要的单体酚结构受到刺激发生改变,产生一种芳酰胺的甲氧基聚合因子,激活植物激素因子活性,从而促进生理活性^[24]。研究^[25]表明,萌芽黑、红糯米和白蜡米的总酚含量和抗氧化活性(FRAP、DPPH·)均高于未萌芽样品。同样,萌芽可明显提高糙米中酚类物质含量和总抗氧化活性^[26-28]。可能的原因有:① 萌芽改变了分子内部结构,或使分子发生新的裂解组合,或是形成了新的具有酚羟基的抗氧化物质,使酚类物质含量及其抗氧化活性增加;② 萌芽促进了酚类物质与其他膳食纤维等非淀粉多糖类分子的互作,从而使部分结合态酚类物质转化为游离态;③ 在内源酶的催化作用下,酚类物质被降解,合成具有生物活性的二级代谢产物,从而提高酚类物质抗氧化活性。另外,不同品种稻米进行萌芽处理后酚类物质变化结果可能有所不同。Wang等^[29]发现随着萌芽时间的增加,白色谷粒游离型酚和总酚含量一直不断增加,而红色谷粒和黑色谷粒的游离型酚和总酚含量在24 h以内快速下降,24 h以后却持续上升。3种谷粒的结合型酚含量均随萌芽时间增加而增加,DPPH·清除活性结果与之一致,而游离型酚和总酚的抗氧化活性呈先下降后上升的趋势,且萌发过程中黑色谷粒的总酚和抗氧化能力均高于白色和红色品种,导致该结果的原因可能是不同品种所含酚类物质组成的差异性。综上,萌芽处理在大多数情况下均能起到提高谷物及杂豆中酚类物质含量与抗氧化活性的作用,是一种既安全环保又节省资源的处理方式。

2.1.3 微生物发酵 发酵因有利于人体吸收一些难以被充分利用的营养物质而被广泛应用于食品行业,尤其是对生物活性化合物的生产、提取和改性方面。它不仅

提高食品的保质期、营养和感官特性,还能增强生物活性物质的抗氧化活性^[6]。通常在微生物发酵过程中,会产生一些有利于人体健康的小分子物质,因其具有独特的生理活性功能而受到青睐。发酵通过微生物与环境之间的相互作用使物质成分发生重要的生物转化,赋予其更好的功能特性,使高分子发生聚合,促进一些健康的生物活性化合物(游离阿魏酸等)的溶出,并增加其生物利用度^[30]。大米和鹰嘴豆、紫扁豆混合粉固态发酵后其总酚含量、抗氧化活性均显著增加^[31-32]。同样,发酵使脱脂小麦胚芽、燕麦麸皮的总酚含量显著提高,且发酵提高了游离酚含量和抗氧化活性^[33-34]。综上所述,发酵处理能明显提高谷物及杂豆酚类物质含量和抗氧化活性,分析可能是发酵能够溶解部分的丹宁,或酚类物质在酸性环境中发生分子重排,以及与其他大分子之间发生相互作用等原因。植物活性物质种类、品种、菌种、发酵因素(接种量、水分、温度、时间)等亦是影响发酵效果的重要因素^[5]。

2.2 非热加工

传统的热加工处理虽然能够杀灭谷物及杂豆中的微生物,延长其保质期,但也造成谷物及杂豆中热敏性成分的损失,并对谷物及杂豆制品的色泽、风味和口感等产生不良影响。随着人们对食品微生物安全性要求的提升,新型非热加工技术应运而生。非热加工技术主要通过非传统加热的方法来达到杀菌与钝酶的目的,不仅有利于保持谷物及杂豆中多酚等功能性成分的生物活性,还能避免出现由传统热杀菌技术带来的营养成分被破坏、挥发性风味化合物丧失和非酶褐变等问题,在工业应用中具备巨大潜力。因此,研究非热加工技术对谷物及杂豆中酚类物质含量的影响及其抗氧化活性的变化,对针对性地增强酚类物质的稳定性,保持粮食食品食用感官品质及营养特性具有重要意义。

2.2.1 高压脉冲电场 高压脉冲电场是利用对两电极的流态物料进行反复施加高电压短脉冲处理,从而将微生物杀灭,使得食品得到长期贮藏的一种技术。研究发现高压脉冲电场对谷豆酚类物质等生物活性成分也有一定影响,可用于生物活性物质的保留,有效防止其在贮藏过程中的褐变,抑制酚类物质含量及抗氧化活性的降低。Xu 等^[35]研究表明,高压脉冲电场处理能够使鹰嘴豆、小扁豆和黄豌豆种子细胞膜穿孔并促进细胞内酚类物质的释放,进而提高其抗氧化活性。同样,Quagliarillo^[36]发现糙米经过高压脉冲电场处理后,不仅能提高抗氧化物如 γ -谷维素、总酚及酚酸单体的得率和抗氧化活性,而且还能抑制人结肠癌细胞的基因表达和白细胞介素的产生。说明高压脉冲电场处理对谷物及杂豆有很好的杀菌效果,还可以很好地保留谷豆中的营养成分,比较适合谷豆的实际加工应用。但是物料在加工过程中因直接接触

电极而有可能发生电化学反应,不仅会导致电极腐蚀,甚至可能会产生有毒的化合物,从而影响产品质量安全,因此今后可能需要重点考虑通过弱化电极腐蚀来解决产品的安全问题。此外,未来可将脉冲电场预处理技术整合到谷豆生物活性物质的溶剂提取工艺中,也是一种很有前景的提高谷物生物活性的方法。由此看来,脉冲电场作为一项新型的低耗能耗时的加工技术,对谷物及杂豆生物活性物质含量及其抗氧化性产生了一定的积极作用,在实现工业化的应用方面具有可行性。

2.2.2 超高压处理 超高压加工是指将食品密封在容器内放入液体介质中或直接将液体食品泵入处理槽中,然后进行 100~1 000 MPa 的加压处理,导致微生物的伤害或死亡,从而达到杀菌保存的目的。超高压处理对谷物及豆类酚类物质含量及抗氧化活性也能产生一定影响。糙米高压处理 10 min 后总酚、总黄酮含量(最大保留率分别为 96.7% 和 97.4%) 在 100~300 MPa 范围内随着处理压力的增大而增加,DPPH· 和 ABTS· 清除率变化趋势与酚类物质含量变化趋势一致^[37]。同样,超高压处理对萌芽糙米中所选营养素的生物可及性有显著影响,不仅能提高 γ -氨基酸和酚类物质含量,而且还能提高萌芽糙米的抗氧化活性^[38]。研究^[39]表明,连续式超高压处理反复多次的升压降压过程能够产生更强的冲击和剪切效果,加强微生物的灭活,更显著提高酚类物质含量及其抗氧化活性。超高压处理技术在一定程度上提高了谷物及豆类中酚类物质等活性物质的提取率及抗氧化活性,可使得酚类物质在超高压条件下发生结构变化,导致其组成成分的改变,从而影响其抗氧化活性。

2.2.3 紫外线辐射 紫外线辐射是指将食品(原料或加工后的产品)暴露于电离或非电离辐射条件下,以抑制或破坏微生物的新陈代谢和生长发育而达到杀菌目的的一种技术。Sultan 等^[40]研究发现,辐射可对植物性食物中的生物活性物质产生一定的积极影响,如通过射线或电场的刺激,改变糙米中酚类物质的分布及排列,从而促进游离型酚酸的释放,增加抗氧化活性。目前紫外线辐射技术在谷物或杂豆中的应用研究较少,在蔬菜和水果中的应用较为广泛。Dyshlyuk 等^[41]研究表明,番茄紫外 UV-A 辐射后酚酸类化合物、类胡萝卜素和黄酮类化合物含量和抗氧化活性在不同波长处(353,365,400 nm)均呈上升趋势。Ito 等^[42]报道称 γ 射线拥有可以更好地保留苹果中酚类化合物含量及抗氧化活性的潜力。随着干燥温度的升高,红外线能使大蒜总酚含量和类黄酮含量有所下降,50~70 °C 条件下能提高其抗氧化活性^[43],其原因可能是红外干燥造成了酚类物质与其他生物分子的再结合,从而提高了抗氧化活性。辐射处理在加工过程中不会显著提高食品的温度,因此几乎不会造成植物性食物中生物活性化合物的损失,或其损失非常小可忽略

不计,其在谷物及豆类中的应用具有一定的利用价值。

2.2.4 低压等离子体辉光技术 除高压脉冲电场、超高压处理和紫外线辐射外,低压等离子体辉光技术的应用也是获得延长食品保质期和保留食物中酚类物质最大化的最佳解决方案之一。等离子体可以描述为一种电中性气体,低压等离子体辉光技术可通过利用体系中大量带电粒子和活性粒子的作用实现产品的加工,是近年来迅速发展起来的一种新型非热加工技术,已经被广泛应用于材料、微电子、生物医疗器械、航天航空和食品加工等领域^[44-45]。低压等离子体辉光技术作为一种非热处理技术可为食品加工领域开辟一条新的环保加工方式,是一种很有前景的预处理技术。Chen 等^[46]将糙米暴露于 3 kV 低压等离子体中 10 min,发现糙米萌芽率、幼苗长度和吸水率显著提高,与对照组相比,预发芽 24 h 糙米经等离子体处理后其多酚含量可提升至 2.30 mg GAE/g,抗氧化能力显著提升(ABTS·和 DPPH·清除能力分别为 10.54, 20.60 mg Trolox/g)。说明低压等离子体辉光处理在促进糙米生长和抗氧化物质积累的过程中是有效的。等离子体处理巴斯马蒂大米后,所有样品酚类物质含量同样显著提升,将功率从 30 W 升高到 40 W,处理时间由 10 min 缩短为 5 min,可获得最高的酚含量(0.44 mg GAE/100 g)^[47]。这与 Sarangapani 等^[48]研究结论相一致,即对照预煮米粉样品总酚含量经低压等离子体辉光处理(30 W 或 40 W 处理 5 min)后明显增加。低压等离子体辉光处理后谷物酚类物质含量的增加主要归因于醛苷类物质的释放和大分子酚类物质的降解,其对谷物中酚类物质含量及抗氧化活性的影响取决于设备配置、处理条件和原料等因素。

3 结论与展望

酚类物质是一种植物性食物中具有保健功能的生物活性物质,也是谷豆中重要的生物活性组分之一,是近些年来研究的重点与热点。谷物及杂豆中的酚类物质稳定性差,极易受到外界条件干扰发生降解,影响其生理功效的发挥。随着消费者对营养健康粮食食品需求的日益增长,人们越来越重视和趋向于寻求既能提升生物活性成分含量与功效又安全有效的加工处理技术。生物加工和非热加工技术是提高食品质量快速、有效和可靠的替代方法,在全谷物等粮食食品开发中也具有非常大的潜力。多数情况下,生物加工和非热加工技术均可增加酚类物质的含量及其抗氧化活性,但在某些极端条件下也会导致酚类物质的降解。采用不同的加工技术处理会产生不同程度的影响结果,这可能是生物加工和非热加工改变了酚类物质分子结构所致,也可能是分子重聚,亦或是原料本身的不同所致。因此,开展不同加工技术在粮食食品中的作用机制及应用调控技术研究十分必要,可为根

据不同的原料特性、合理选用不同加工技术方法改善谷物及杂豆类食品品质提供支撑依据。但目前的研究多集中于探究单一生物加工技术或非热加工技术对谷豆中酚类物质的影响,尚未有相关文献系统地对比探究多种加工方式对酚类物质的作用效果。此外,针对酚类物质经过不同加工技术处理后其结构变化情况的研究非常有限,相关作用机制分析也不够深入和全面,未来应加强两种或多种加工技术在谷豆加工中联合应用的研究,分析不同加工技术条件对谷豆中酚类物质结构及其生物活性的影响,明确其构效关系。同时,建议通过探究谷豆活性组分间的相互作用关系,进一步探讨加工技术对谷豆营养品质的影响效果,以期得到具有良好品质的新型营养谷物及杂豆类食品。

参考文献

- [1] 杜亚军, 李红梅, 李云龙. 杂豆主食化研究进展[J]. 食品研究与开发, 2021, 42(11): 183-188.
- [2] DU Ya-jun, LI Hong-mei, LI Yun-long. Research status on pulses for staple food[J]. Food Research and Development, 2021, 42(11): 183-188.
- [3] ALMAIMAN S A, ALBADR N A, ALSULAIM S, et al. Effects of microwave heat treatment on fungal growth, functional properties, total phenolic content, and antioxidant activity of sorghum (*Sorghum bicolor* L.) grain[J]. Food Chemistry, 2021, 348(8): 128979.
- [4] 马占倩, 吴娜娜, 易翠平, 等. 热加工过程对植物酚类物质结构、含量及抗氧化活性影响研究进展[J]. 食品与机械, 2018, 34(12): 152-159.
- [5] MA Zhan-qian, WU Na-na, YI Cui-ping, et al. Research progress on the effects of thermal processing on the structure, content and antioxidant activity of phenolic compounds in plants[J]. Food & Machinery, 2018, 37(12): 152-159.
- [6] 刘婷婷, 包佳微, 李嘉欣, 等. 加工方式对豆类中酚类物质的影响研究进展[J]. 黑龙江八一农垦大学学报, 2019, 31(4): 56-62.
- [7] LIU Ting-ting, BAO Jia-wei, LI Jia-xin, et al. Research progress on effects of processing methods on phenolic compounds in beans[J]. Journal of Heilongjiang Bayi Agricultural University, 2019, 31(4): 56-62.
- [8] 李娟娟, 刘艺欢, 陈东方, 等. 谷物制品的生物加工研究进展[J]. 食品工业科技, 2020, 41(13): 358-363.
- [9] LI Juan-juan, LIU Yi-huan, CHENG Dong-fang, et al. Research progress of bio-processing of cereal products[J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(13): 358-363.
- [10] KADIRI O. A review on the status of the phenolic compounds and antioxidant capacity of the flour: Effects of cereal processing[J]. International Journal of Food Properties, 2017, 20 (Suppl): S798-S809.
- [11] CHMIEL T, SAPUTRO I E, KUSZNIEREWICZ B, et al. The impact of cooking method on the phenolic composition, total antioxi-

- dant activity and starch digestibility of rice (*Oryza sativa* L.) [J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2017, 42(1): e13383.
- [8] CHEN Yan-xia, MA Yong-xuan, DONG Li-hong, et al. Extrusion and fungal fermentation change the profile and antioxidant activity of free and bound phenolics in rice bran together with the phenolic bioaccessibility [J]. LWT-Food Science and Technology, 2019, 115: 108461.
- [9] MAGHSOUDLOU Y, GHAJARI M A, TAVASOLI S. Effects of heat treatment on the phenolic compounds and antioxidant capacity of quince fruit and its tisane's sensory properties [J]. Journal of Food Science and Technology, 2019, 56: 2 365-2 372.
- [10] BUSTOS M C, VIGNOLA M B, PAESANI C, et al. Berry fruits-enriched pasta: Effect of processing and in vitro digestion on phenolics and its antioxidant activity, bioaccessibility and potential bioavailability [J]. International Journal of Food Science And Technology, 2020, 55(5): 2 104-2 112.
- [11] PENG Meng-yao, LU Dan, LIU Jie, et al. Effect of roasting on the antioxidant activity, phenolic composition, and nutritional quality of pumpkin (*Cucurbita pepo* L.) seeds [J]. Frontiers in Nutrition, 2021, 8: 647354.
- [12] LU Yao, XU Kang, SONG Ying-hui, et al. Effect of thermal processing on the phenolic profiles, antioxidant capacity and volatile compounds of fig wines [J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2021, 45(4): e15321.
- [13] SHAO Ya-fang, BAO Jin-song. Polyphenols in whole rice grain: Genetic diversity and health benefits [J]. Food Chemistry, 2015, 180: 86-97.
- [14] LUO Mu-kang, HOU Fang-li, DONG Li-hong, et al. Comparison of microwave and high-pressure processing on bound phenolic composition and antioxidant activities of sorghum hull [J]. International Journal of Food Science & Technology, 2020, 55(9): 3 190-3 202.
- [15] CATALKAYA G, VENEMA K, LUCINI L, et al. Interaction of dietary polyphenols and gut microbiota: Microbial metabolism of polyphenols, influence on the gut microbiota, and implications on host health [J]. Food Frontiers, 2020, 1(2): 109-133.
- [16] BORISOVA V, EFTIMOV M, VALCHEVA K S. Assessment of chaenomeles maulei fruit juice effects in tests for depression and anxiety [J]. Acta Medica Bulgarica, 2019, 46(1): 34-38.
- [17] 孙丹, 黄士淇, 蔡圣宝. 不同加工方式对苦荞中总酚、总黄酮及抗氧化性的影响 [J]. 食品与发酵工业, 2016, 42(1): 141-147.
- SUN Dan, HUANG Shi-qi, CAI Sheng-bao. Effects of different processing methods on total phenolic flavonoids and antioxidant activity of tartary buckwheat [J]. Food and Fermentation Industries, 2016, 42(1): 141-147.
- [18] 蔡亭, 汪丽萍, 刘明, 等. 浸泡时间对绿豆浸泡液中多酚及抗氧化活性的影响 [J]. 粮油食品科技, 2014, 22(5): 9-12.
- CAI Ting, WANG Li-ping, LIU Ming, et al. The influence of soaking time on polyphenols and antioxidant activities of mung bean soaking solution [J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2014, 22(5): 9-12.
- [19] AFIFY E M M, ELBELTAGI H S, ELSALAM S M A, et al. Biochemical changes in phenols, flavonoids, tannins, vitamin E, β -carotene and antioxidant activity during soaking of three white sorghum varieties [J]. Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine, 2012, 2(3): 203-209.
- [20] SEGEV A, BADANI H, GALILI L, et al. Total phenolic content and antioxidant activity of chickpea (*Cicer arietinum* L.) as affected by soaking and cooking conditions [J]. Food & Nutrition Sciences, 2011, 2(7): 724-730.
- [21] XU Bao-jun, CHANG S K C. Effect of soaking, boiling, and steaming on total phenolic content and antioxidant activities of cool season food legumes [J]. Food Chemistry, 2008, 110(1): 1-13.
- [22] SIAH S, WOOD J A, AGBOOLA S, et al. Effects of soaking, boiling and autoclaving on the phenolic contents and antioxidant activities of faba beans (*Vicia faba* L.) differing in seed coat colours [J]. Food Chemistry, 2014, 142(1): 461-468.
- [23] XIA Qiang, WANG Li-ping, XU Cong-cong, et al. Effects of germination and high hydrostatic pressure processing on mineral elements, amino acids and antioxidants in vitro bioaccessibility, as well as starch digestibility in brown rice (*Oryza sativa* L.) [J]. Food Chemistry, 2017, 214: 533-542.
- [24] CHA J Y, KIM T W, CHOI J H, et al. Fungal laccase-catalyzed oxidation of naturally occurring phenols for enhanced germination and salt tolerance of arabidopsis thaliana: A green route for synthesizing humic-like fertilizers [J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2017, 65(6): 1 167-1 177.
- [25] PHATTAYAKORN K, PAJANYOR P, WONGTECHA S, et al. Effect of germination on total phenolic content and antioxidant properties of 'Hang' rice [J]. International Food Research Journal, 2016, 23(1): 406-409.
- [26] CORNEJO F, CACERES P J, CRISTINA M V, et al. Effects of germination on the nutritive value and bioactive compounds of brown rice breads [J]. Food Chemistry, 2015, 173: 298-304.
- [27] ABUBAKAR B, YAKASAI H M, ZAWAWI N, et al. Compositional analyses of white, brown and germinated forms of popular Malaysian rice to offer insight into the growing diet-related diseases [J]. Journal of Food & Drug Analysis, 2017, 26(2): 706-715.
- [28] 何新益, 刘金福, 何菲. 糙米发芽前后抗氧化活性比较研究 [J]. 中国粮油学报, 2009, 24(11): 6-8, 16.
- HE Xin-yi, LIU Jin-fu, HE Fei. Comparative study on antioxidant activity of brown rice before and after germination [J]. Chinese Journal of Cereals and Oils, 2009, 24(11): 6-8, 16.
- [29] WANG Yan, LI Mei, XU Fei-fei, et al. Variation in polyphenols, tocols, γ -aminobutyric acid, and antioxidant properties in whole grain rice (*Oryza sativa* L.) as affected by different germination time [J]. Cereal Chemistry, 2016, 93(3): 268-274.
- [30] LIU Na, SONG Min, WANG Nai-feng, et al. The effects of solid-state fermentation on the content, composition and in vitro antioxi-

- dant activity of flavonoids from dandelion[J]. PLoS One, 2020, 15(9): e0239076.
- [31] RANI P, KUMAR A, PUROHIT S R, et al. Impact of fermentation and extrusion processing on physicochemical, sensory and bioactive properties of rice-black gram mixed flour[J]. LWT-Food Science and Technology, 2018, 89(1): 155-163.
- [32] SADH P K, SAHARAN P, DUHAN J S. Bio-augmentation of antioxidants and phenolic content of lablab purpureus by solid state fermentation with GRAS filamentous fungi[J]. Resource-Efficient Technologies, 2017, 3(3): 285-292.
- [33] LIU Feng-ru, CHEN Zheng-xing, SHAO Juan-juan, et al. Effect of fermentation on the peptide content, phenolics and antioxidant activity of defatted wheat germ [J]. Food Bioscience, 2017, 20: 141-148.
- [34] ZKAYA H, ZKAYA B, DUMAN B, et al. Effect of dephytinization by fermentation and hydrothermal autoclaving treatments on the antioxidant activity, dietary fiber, and phenolic content of oat bran[J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2017, 65(28): 5 713-5 719.
- [35] XU Min-wei, JIN Zhao, PECKRUL A, et al. Pulse seed germination improves antioxidative activity of phenolic compounds in stripped soybean oil-in-water emulsions[J]. Food Chemistry, 2018, 250: 140-147.
- [36] QUAGLIARIELLO V. Effect of pulsed electric fields, assisted extraction on anti-inflammatory and cytotoxic activity of brown rice bioactive compounds[J]. Food Research International, 2016, 87: 115-124.
- [37] 潘芳. 超高压处理对糙米感官特性与营养特性的影响研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2017: 41-46.
- PAN F. Effects of ultra-high pressure treatment on sensory and nutritional properties of brown rice[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2017: 41-46.
- [38] KIM M Y, LEE S H, JANG G Y, et al. Influence of applied pressure on bioactive compounds of germinated rough rice (*Oryza sativa* L.)[J]. Food & Bioprocess Technology, 2015, 8(10): 2 176-2 181.
- [39] TCHABO W, MA Y, KWAW E, et al. Effects of ultrasound, high pressure, and manosonication processes on phenolic profile and antioxidant properties of a sulfur dioxide-free mulberry (*Morus nigra*) wine[J]. Food & Bioprocess Technology, 2017, 10(7): 1 210-1 223.
- [40] SULTAN N, WANI I A, MASOODI F A. Moisture mediated effects of γ -irradiation on physicochemical, functional, and antioxidant properties of pigmented brown rice (*Oryza sativa* L.) flour[J]. Journal of Cereal Science, 2017, 79: 399-407.
- [41] DYSHLYUK L, BABICH O, PROSEKOV A, et al. The effect of postharvest ultraviolet irradiation on the content of antioxidant compounds and the activity of antioxidant enzymes in tomato[J]. Heliyon, 2020, 6(1): e03288.
- [42] ITO V C, ALBERTI A, AVILA S, et al. Effects of gamma radiation on the phenolic compounds and in vitro antioxidant activity of apple pomace flour during storage using multivariate statistical techniques[J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2016, 33: 251-259.
- [43] JIHENE L, AMIRA T, ZAGROUBA F. Effect of infra-red drying on the stability of physicochemical properties, phenolics, flavonoids and on antioxidant activity of allium sativum[J]. American Chemical Science Journal, 2016, 10(2): 1-12.
- [44] 孟宁, 刘明, 张培茵, 等. 低温等离子体技术在全谷物加工中的应用进展[J]. 食品工业科技, 2019, 40(24): 332-337.
- MENG Ning, LIU Ming, ZANG Pei-yin, et al. Application of low temperature plasma technology in whole grains processing[J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(24): 332-337.
- [45] MUNEKATA P E S, DOMINGUEZ R, PATEIRO M, et al. Influence of plasma treatment on the polyphenols of food products: A review[J]. Foods, 2020, 9(7): 929.
- [46] CHEN Hua Han, CHANG Hung Chia, CHEN Yu Kuo, et al. An improved process for high nutrition of germinated brown rice production: Low-pressure plasma[J]. Food Chemistry, 2016, 191(15): 120-127.
- [47] THRIUMDAS R, DESHMUKH R R, ANNAPURE U S. Effect of low temperature plasma on the functional properties of basmati rice flour[J]. Journal of Food Science and Technology, 2016, 53(6): 2 742-2 751.
- [48] SARANGAPANI C, THIRUMDAS R, DEVI Y, et al. Effect of low-pressure plasma on physico-chemical and functional properties of parboiled rice flour[J]. LWT-Food Science and Technology, 2016, 69: 482-489.

(上接第3页)

业有限公司、雀巢(中国)有限公司、艺康集团、安琪酵母股份有限公司、良品铺子股份有限公司的国内外知名食品企业代表,围绕“以‘大食物观’把握食品安全与健康新机遇”的话题畅所欲言。

此外,大会主办方邀请国内外权威专家学者及企业家,带来的“新原料、新技术助力食品安全与健康新发展”“新型食品管理前瞻”“乳品科技与儿童营养健康论坛”

“食品安全风险预警交流新需求与新挑战”“融合科学与行业需求的标准法规建设”“科技与政策驱动下的特殊食品行业新动态”“食品科技创新与健康老龄化”“功能声称与保健食品管理的科学衔接”等分论坛报告,让与会者在国内外专家智慧的碰撞中,开启食品安全与健康的新思路。截至2022年6月22日大会主会场活动结束,全网累计观看量超过240万人次。

(中国食品科学技术学会秘书处 供稿)