

负压辅助钙营养强化对发芽糙米富钙效果的影响

李菁

(黑龙江省农业机械工程科学研究院, 黑龙江 哈尔滨 150081)

摘要: 在糙米催芽过程中进行钙营养强化,并在催芽中期采取负压辅助处理富钙,研究不同浓度 CaCl_2 溶液(100、150、200 mg/L)浸泡催芽和不同强度负压(-0.06、-0.08、-0.10 MPa)处理对发芽糙米中钙含量的影响,以及负压辅助钙营养强化对糙米在发芽过程中产生 γ -氨基丁酸(γ -aminobutyric acid, GABA)的影响。结果表明,营养强化处理最佳条件为 CaCl_2 浸泡液浓度 150 mg/L、负压处理强度-0.08 MPa、负压处理时间 4 h。在此条件下得到发芽糙米中钙含量最高可达 523 mg/kg, GABA 含量可达 89.65 mg/100 g。

关键词: 负压;钙;营养强化;发芽糙米;富钙效果

Effects of Negative Pressure-Assisted Treatment on Calcium Enrichment in Germinated Brown Rice

LI Jing

(Heilongjiang Academy of Agricultural Machinery Sciences, Harbin 150081, Heilongjiang, China)

Abstract: Calcium was enriched by negative pressure treatment at the middle germination stage of brown rice. The effects of CaCl_2 solution (100, 150, 200 mg/L) soaking and negative pressure treatments (-0.06, -0.08, -0.10 MPa) on calcium content in germinated brown rice were studied. Further, the effect of negative pressure-assisted calcium enrichment on the content of γ -aminobutyric acid (GABA) in germinated brown rice was studied. The optimal conditions for calcium enrichment were obtained as follows: CaCl_2 concentration of 150 mg/L and negative pressure treatment at -0.08 MPa for 4 h. Under these conditions, the content of calcium and GABA in germinated brown rice reached 523 mg/kg and 89.65 mg/100 g, respectively.

Key words: negative pressure; calcium; nutrition enhancement; germinated brown rice; calcium enrichment

引文格式:

李菁. 负压辅助钙营养强化对发芽糙米富钙效果的影响[J]. 食品研究与开发, 2023, 44(5): 68-72.

LI Jing. Effects of Negative Pressure-Assisted Treatment on Calcium Enrichment in Germinated Brown Rice[J]. Food Research and Development, 2023, 44(5): 68-72.

近年来,经济增长带动生活水平不断提高,人们对食物的营养功能性需求也随之增强,饮食习惯也逐渐被营养、健康、节约的新理念取代。小麦、水稻等粮食的过度加工,不仅造成了资源的浪费,还使外层组织富含的膳食纤维、维生素与矿物质流失。糙米是稻谷去壳后仍保留皮层、糊粉层和胚芽等外层组织的籽粒,因其加工过程没有去除富含营养的米糠层,糙米营养成分大大超过精白米。但糙米口感粗糙,质地较硬,人体摄取后难以消化,不宜作为日常主食,只是少量减肥人群选择食用,而糙米在适宜湿度和温度条件

下催芽后,外部米糠层中纤维软化、植酸水解,使糙米的蒸煮特性和口感得以改善。发芽过程中其内部含有的营养素也被激活更易于人体吸收,还产生了肌醇六磷酸盐和 γ -氨基丁酸(γ -aminobutyric acid, GABA)等促进人体健康和预防疾病的有益物质。GABA是一种非蛋白质氨基酸,是人体神经营养素,能改善脑部供血情况、促进血液流通,具有改善睡眠质量、降血压、抗焦虑、提高脑活力、增强记忆力等功效^[1]。发芽糙米是具有多种营养功效的新型健康主食。

因体内营养不平衡或缺乏某种必需维生素和矿

物质而导致的“隐性饥饿”已成为全球关注的公共健康问题,人体缺乏必需营养素可能造成多种疾病,适当补充并保持人体中营养元素的正常水平是医疗和食品保健的重要举措^[2]。钙在机体内各种生理活动中起着重要作用,是骨骼和牙齿的重要组成元素,也是维持细胞正常生存和功能、神经传导等的重要调节物质,参与人体新陈代谢,影响体内多种酶活性。人体每天需摄入足量的钙元素,才能维持正常运转。我国人群营养调查结果显示,膳食营养素中钙摄入不足是人们普遍存在的健康问题^[3]。陈海燕等^[4]研究叶面施钙对大枣品质的影响,结果表明在不同时期叶面喷施 CaCl_2 溶液均能提高大枣果实中的钙含量。江雨婷^[5]筛选大豆分离蛋白种类,研究大豆分离蛋白、二氧化硅、碳酸钙和全脂乳粉的配比和混合工艺参数,生产出一种高钙营养蛋白质粉。从根本上解决因钙元素缺乏而引起的“隐性饥饿”,开发安全有效的高钙食品具有重要意义和广阔应用前景。

生物营养强化是减轻人体营养匮乏,改善公共健康的新方法,通过农艺措施或生物育种方式对农作物进行营养强化可提高农产品中营养元素含量。He 等^[6]研究发现在水稻开花期叶面施铁肥可使铁蛋白形成量增加 67.2%,也可有效提高其生物利用度。孟君等^[7]制备富硒豆芽,以不同浓度的亚硒酸钠为浸泡液,对绿豆和黄豆在发芽过程中进行硒营养强化,结果表明绿豆和黄豆在发芽过程中均会富集一定量的硒元素,但较大浓度的硒溶液会一定程度上抑制豆芽生长。Barra-meda-Medina 等^[8]对甘蓝进行锌元素营养强化研究,在水培甘蓝过程中加入不同浓度的 ZnSO_4 溶液,结果表明甘蓝中锌含量、多酚含量和总氨基酸含量均有所提升。在糙米催芽过程中富钙,糙米可将无机钙经过生物转化形成人体易吸收的有机活性钙,在日常饮食中即可补充钙元素,无需额外补充钙营养剂,从源头上解决钙元素摄入不足问题。目前,已有多种方式可以增加发芽糙米中的钙含量,如优化浸泡液中 CaCl_2 添加量、浸泡液 pH 值、催芽温度等^[9]。也有研究表明,适宜 Ca^{2+} 浓度可以促进糙米发芽,而且 Ca^{2+} 可有效促进糙米在发芽过程中 GABA 的合成^[10],但负压辅助处理对发芽糙米富钙效果的影响鲜有研究。本试验在糙米发芽过程中加入不同浓度 CaCl_2 溶液,并在催芽中期加以负压处理,强化营养组分传质推动力,系统分析基质中 Ca^{2+} 浓度、负压处理压力强度对糙米发芽率及富钙效果的影响,研究负压辅助钙营养强化对糙米发芽过程中 GABA 生成量的影响,以期对营养型发芽糙米的开发提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

糙米:嘉祥永胜食品有限公司;氯化钙、碳酸氢钠:

上海国药集团化学试剂有限公司;4-二甲氨基偶氮苯-4'-磺酰氯:美国 Sigma 公司;所有试剂均为分析纯。

1.2 仪器与设备

电子天平(LT1002C):常熟市天量仪器有限责任公司;精密电子天平(AL-104):上海梅特勒-托利多仪器设备有限公司;催芽控制器(5ZTD):黑龙江沃尔农装科技有限公司;微波消解仪(MD6C-10H):北京盈安美诚科学仪器有限公司;电感耦合等离子体发射光谱仪(Agilent5110):安捷伦科技有限公司;液相色谱仪(LC-20AD):日本岛津制作所;高效种子营养强化机:黑龙江省农业机械工程科学研究院自主研制;漩涡混匀器(MX-S):美国赛洛捷克公司。

1.3 方法

1.3.1 富钙发芽糙米的制备

将糙米过筛、挑选,除去杂质、发霉、未脱壳、成熟度差等籽粒。用去离子水冲洗糙米,洗去糙米粒表面的糠粉及灰尘,沥干。分别称取一定量糙米,在 32 ℃恒温条件下浸泡于不同浓度的 CaCl_2 溶液中,并用曝气强度为 3 m^3/h 的曝气泵增氧,浸泡催芽 0、12、24、36、48 h,在催芽中期对破胸糙米粒进行不同强度的负压处理,获得富钙发芽糙米。

1.3.2 富钙发芽糙米发芽率的测定

参照吴小勇等^[11]的方法,并稍作修改。分别在糙米浸泡催芽 12、24、36、48 h 时计算发芽率,计算发芽率时把糙米分成 3 等份,从每一等份中取一勺糙米(约 200 粒),记总粒数和发芽糙米数(糙米胚根露出种皮 1 mm 以上即为发芽糙米),发芽糙米数与总糙米粒数的比值即为该等份的发芽率,3 份糙米发芽率的平均值即为该试验组的发芽率。计算公式如下。

$$\text{发芽率}/\% = \text{发芽糙米粒数}/\text{总糙米粒数} \times 100$$

1.3.3 发芽糙米中钙含量的测定

按照 GB 5009.268—2016《食品安全国家标准 食品中多元素的测定》^[12]中第二法测定发芽糙米中的钙含量。将发芽糙米烘干后粉碎,经消解后用电感耦合等离子体发射光谱仪测定富钙发芽糙米中钙含量。

1.3.4 发芽糙米中 γ -氨基丁酸(GABA)含量的测定

按照 NY/T 2890—2016《稻米中 γ -氨基丁酸的测定 高效液相色谱法》^[13]的方法测定发芽糙米中 GABA 的含量。将发芽糙米烘干后粉碎,称取 1.0 g 样品于离心管中,加入 10 mL 提取液(无水乙醇和水,体积比 4:1),超声辅助提取 30 min 后,在漩涡混匀器上振荡 2 min,5 000 r/min 离心 5 min,取上清液放入容量瓶中,剩余样品残渣再用 10 mL 提取液重复提取 1 次,合并 2 次上清液,用提取液定容至 25 mL。取 1 mL 上述溶液于试管中,加入 0.2 mL 碳酸氢钠溶液和 0.4 mL 4-二甲氨基偶氮苯-4'-磺酰氯衍生剂,混匀后在 70 ℃水浴中衍生 20 min,过滤后用液相色谱仪测定发芽糙米中

GABA 含量。

1.3.5 钙离子浓度对糙米发芽率和富钙效果的影响

同 1.3.1 方法进行富钙发芽糙米制备, CaCl_2 浓度分别为 0、100、150、200 mg/L, 不进行负压处理。获得富钙发芽糙米, 按 1.3.2 中方法进行发芽率测定, 按 1.3.3 中方法进行糙米中钙含量测定。

1.3.6 负压处理强度对糙米发芽率和富钙效果的影响

同 1.3.1 方法进行富钙发芽糙米制备, 150 mg/L CaCl_2 溶液作为糙米浸泡液, 在催芽中期进行负压处理, 负压处理强度分别为 0、-0.06、-0.08、-0.10 MPa, 负压处理时间为 4 h。获得富钙发芽糙米, 按 1.3.2 中方法进行发芽率测定, 按 1.3.3 中方法进行糙米中钙含量测定。

1.3.7 负压辅助钙营养强化对发芽糙米中 GABA 含量的影响

同 1.3.1 方法进行负压辅助钙营养强化发芽糙米制备, 150 mg/L CaCl_2 溶液作为糙米浸泡液, 在催芽中期进行负压处理, 负压处理强度为 -0.08 MPa, 负压处理时间为 4 h。获得负压辅助钙营养强化发芽糙米, 按 1.3.4 中方法进行发芽糙米中 GABA 含量的测定。

1.4 统计方法

每个试验重复 3 次, 结果表示为平均值 $\pm$ 标准偏差。数据统计分析采用 Statistix 8.1 软件包中 Linear Models 程序进行, 差异显著性 ($P < 0.05$) 分析使用 Tukey HSD 程序, 采用 Sigmaplot 9.0 软件作图。

2 结果与分析

2.1 钙离子浓度对糙米发芽率和富钙效果的影响

不同钙离子浓度下催芽不同时间后糙米发芽率的变化见图 1。

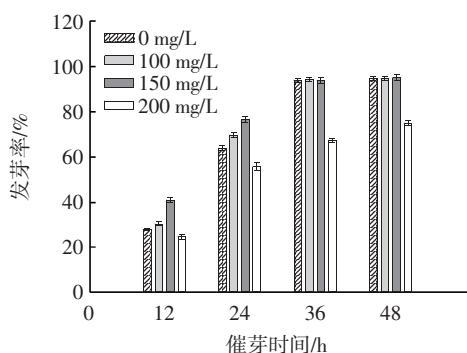


图1 不同钙离子浓度下催芽不同时间后糙米发芽率的变化

Fig.1 The changes in germination rate of brown rice soaked for different time under different calcium ion concentrations

由图 1 可以看出, 随着催芽时间的延长, 各浓度处理组中糙米的发芽率总体呈上升趋势。试验结果表明, 在 0~24 h 催芽时间内, CaCl_2 催芽溶液浓度为 150 mg/L 的糙米发芽率明显高于浓度为 0、100 mg/L 时的发芽率。而 CaCl_2 浓度为 200 mg/L 时发芽率较低, 最高只能达到 74% 左右。说明添加一定浓度 Ca^{2+} 能够促进糙米发

芽, 而当 Ca^{2+} 浓度过高时, 会抑制其发芽。当催芽 36 h 时, 糙米已基本完成发芽阶段, 除最高浓度 200 mg/L 处理组外, 其他浓度处理组发芽率均可达到 92% 以上。

糙米发芽率与钙离子的添加浓度密切相关。 Ca^{2+} 作为一种营养元素除保证糙米粒正常生长和基本生理功能外, 在谷类种子发芽过程中, Ca^{2+} 作为 α -淀粉酶的重要组成成分, 对保持 α -淀粉酶的活性和稳定性也起到关键作用, 适宜钙离子浓度催芽处理可提高糙米发芽过程中的淀粉酶活力, 从而促进其发芽^[14]。而当钙离子浓度过高时, 大量钙离子形成高渗透压, 可能破坏了发芽糙米颗粒内部组织细胞结构, 扰乱了细胞内部正常生理代谢, 从而抑制其发芽^[15]。因此, 适宜钙离子浓度对催芽效果有明显影响。

不同钙离子处理浓度下发芽糙米中钙含量随时间变化如图 2 所示。

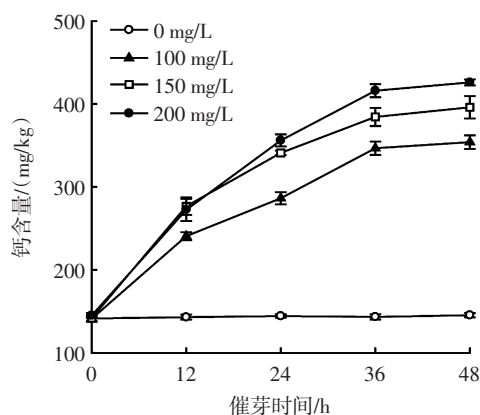


图2 不同钙离子浓度下催芽不同时间后糙米钙含量的变化

Fig.2 The changes in calcium content of brown rice soaked for different time under different calcium ion concentrations

由图 2 可知, 经 CaCl_2 溶液浸泡催芽过的糙米, 发芽后钙含量明显高于空白处理组, 这与余赛西等^[16]的研究结果一致, 其在大豆发芽期间加入不同浓度的硫酸亚铁和硫酸锌进行营养强化处理, 结果表明大豆在萌发过程中对 Fe^{2+} 和 Zn^{2+} 均有一定的富集作用。 Ca^{2+} 悬浮液营养强化发芽糙米, 使糙米外部始终保持一定渗透压, 糙米在发芽过程中吸水膨胀, 钙离子随水分子一同进入糙米细胞组织内部, 使钙含量增加。由结果可以看出, 随着 Ca^{2+} 浓度的增加, 糙米中的钙含量也明显增加, 当 CaCl_2 浸泡液浓度为 200 mg/L 时, 发芽糙米中钙含量最高可达 429 mg/kg, 是未经催芽处理的 3 倍多。催芽时间 48 h 相比 36 h, 糙米中钙含量增加不多, 基本趋于平稳。

试验结果表明, 用适当浓度 CaCl_2 溶液对发芽糙米进行营养强化, 对糙米富集钙有促进作用, 而达到一定处理时间时, 由于生物量的积累使得发芽糙米中钙含量变化不明显, 发芽糙米无法吸收利用多余的钙, 对钙的富集效率降低。提高浸泡液浓度会促进钙元素的

富集,但浓度过高会抑制糙米发芽,应选用适宜浓度 CaCl_2 溶液进行营养强化。综合以上试验结果,确定催芽溶液中 CaCl_2 浓度为 150 mg/L。

2.2 负压处理强度对糙米发芽率和富钙效果的影响

种类发芽有 3 个必需条件:适宜的温度、充足的水分以及足够的氧气。在适宜的温度和充足的水分下,种子就会开始萌发,氧气使种子内部酶活旺盛,种子胚细胞的有氧呼吸加强,促进种子内的生物代谢和物质转化,保证能量供应,为种子萌发提供需要^[17]。经不同强度负压处理后,糙米不同催芽时间发芽率的变化如图 3 所示。

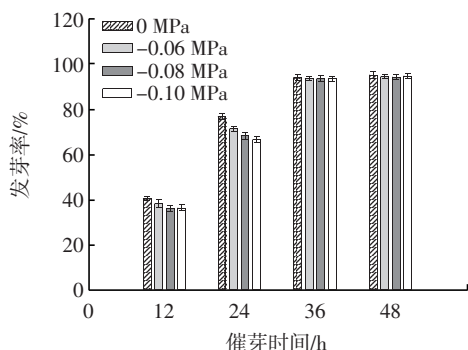


图3 不同负压处理强度催芽不同时间后糙米发芽率的变化
Fig.3 The changes in germination rate of brown rice soaked for different time under different negative pressure treatments

由图 3 可知,在 0~24 h 催芽时间内,由于氧气的缺乏,负压处理对糙米发芽率有一定程度的影响,而且压强越大发芽率越低,对发芽率影响越明显,但当催芽时间达到 36 h 和 48 h 时,随着催芽时间的延长,负压处理对发芽率的影响可基本忽略,糙米发芽率可达到 93%以上。

用真空泵使容器形成负压状态,容器内部压力分别达到 -0.06、-0.08、-0.10 MPa,对糙米催芽营养强化过程进行负压处理。经负压处理后发芽糙米中的钙含量有明显变化,结果如图 4 所示。

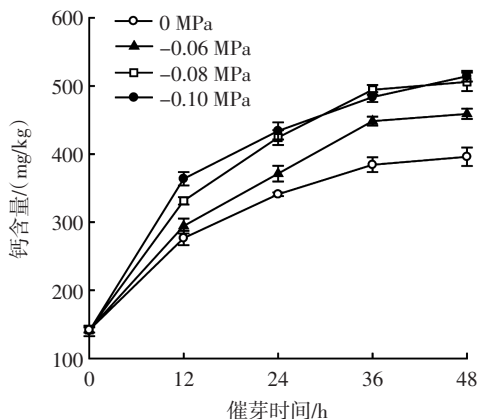


图4 不同负压处理强度催芽不同时间后糙米钙含量的变化
Fig.4 The changes in calcium content of brown rice soaked for different time under different negative pressure treatments

由图 4 可知,经不同强度负压处理后的糙米中钙含量明显高于未负压处理组,最高可达 523 mg/kg,这表明负压处理可以促进糙米发芽过程中钙元素的富集。徐珠洁等^[18]研究表明用乳酸钙和葡萄糖酸锌混合液真空浸渍处理苹果,可以有效提高苹果中钙、锌元素含量,这是由于液体在真空、低温环境下容易汽化蒸发,使得浸泡液的扩散性和渗透性增强。由图 4 还可以看出,当负压处理强度为 -0.08、-0.10 MPa 时,钙离子富集作用差别不明显。因此,在对糙米发芽过程进行营养强化时,可以采取适宜强度的负压处理手段来增强钙营养强化程度。

2.3 负压辅助钙营养强化对发芽糙米中 GABA 含量的影响

促进糙米在发芽过程中生成 GABA 有多种方式,除负压辅助钙营养强化措施外,通过优化催芽浸泡温度、浸泡时间、浸泡液 pH 值、超声处理等发芽条件,也能达到促进目的^[19]。张祎等^[20]研究发现超声波辅助处理对发芽糙米中 GABA 的生成有促进作用,其中超声波处理时机、超声波处理时长、超声频率均对发芽糙米中 GABA 的生成量有影响。Zhang 等^[21]研究不同 pH 值浸泡液对发芽糙米 GABA 含量的影响,结果表明在萌发过程中,浸泡液 pH 值为 5.6 的糙米在发芽过程中 GABA 积累量最高。植物组织内,GABA 主要是由谷氨酸脱羧酶 (glutamate decarboxylase, GAD) 催化 L-谷氨酸发生脱羧反应生成。GAD 是一种钙调素结合蛋白,其活性受 Ca^{2+} 浓度的影响^[22],适当增加浸泡液中 Ca^{2+} 浓度有利于发芽糙米中 GABA 的产生积累。

图 5 为负压辅助钙营养强化对糙米发芽过程中 GABA 含量的影响。

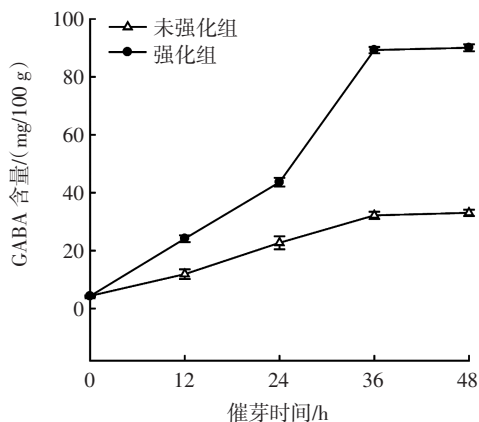


图5 负压辅助钙营养强化对发芽糙米中 GABA 含量的影响
Fig.5 Effects of negative pressure assisted calcium nutrition enhancement on GABA content in germinated brown rice

由图 5 可知,在 0~36 h,发芽糙米中 GABA 累积量随催芽时间的延长明显增加,而且 CaCl_2 浸泡液浓度为 150 mg/L 的强化组 GABA 富集趋势更为明显,明显高于未强化组,在 36 h 时达到最高值。经负压辅助钙营

养强化处理组中 GABA 平均含量可达 89.65 mg/100 g, 是未经强化组中 GABA 平均含量 32.62 mg/100 g 的近 3 倍, 比未催芽糙米中 GABA 含量 4.33 mg/100 g 提高近 20 倍。对糙米进行钙营养强化以及催芽过程中进行负压强化处理, 能有效提高发芽糙米中 GABA 含量。

3 结论

我国在大力推进现代化农业建设进程中, 对多样性、安全性和营养性食物的需求越发急迫。人们对食品的消费观念已由生存型消费加速向健康型、享受型消费转变。在糙米催芽过程中进行钙营养强化, 并在催芽中期采取负压辅助处理措施, 可明显提高发芽糙米中钙含量和 GABA 含量, 其中钙含量最高可达 523 mg/kg, GABA 含量可达 89.65 mg/100 g。因此, 在糙米发芽过程中进行负压辅助钙营养强化处理, 可得到更具营养和保健功能的食品。

参考文献:

- [1] PETROFF O A C. GABA and glutamate in the human brain[J]. The Neuroscientist: a Review Journal Bringing Neurobiology, Neurology and Psychiatry, 2002, 8(6): 562–573.
- [2] 赵佳英, 康德灿, 高永峰, 等. 微生物富集有益元素食品的研发概况与展望[J]. 食品研究与开发, 2017, 38(12): 206–210. ZHAO Jiaying, KANG Decan, GAO Yongfeng, et al. Food research and development of enriching beneficial elements through microorganism[J]. Food Research and Development, 2017, 38(12): 206–210.
- [3] 邵敏. 如何提高我国居民钙的营养状况[J]. 中国保健营养, 2019, 29(14): 386–387. SHAO Min. How to improve the nutritional status of calcium in Chinese residents[J]. China Health Care & Nutrition, 2019, 29(14): 386–387.
- [4] 陈海燕, 宋涛, 陈占文, 等. 叶面施钙对冬枣品质的影响[J]. 山东林业科技, 2019, 49(2): 64–66. CHEN Haiyan, SONG Tao, CHEN Zhanwen, et al. Effect of foliar calcium application on the quality of winter jujube[J]. Journal of Shandong Forestry Science and Technology, 2019, 49(2): 64–66.
- [5] 江雨婷. 一种高钙营养蛋白质粉的开发及特性研究[J]. 中国乳品工业, 2019, 47(11): 56–59. JIANG Yuting. Development and characteristics of a high calcium nutritional protein powder[J]. China Dairy Industry, 2019, 47(11): 56–59.
- [6] HE W L, SHOHAG M J I, WEI Y Y, et al. Iron concentration, bioavailability, and nutritional quality of polished rice affected by different forms of foliar iron fertilizer[J]. Food Chemistry, 2013, 141(4): 4122–4126.
- [7] 孟君, 董梦娜, 张峻松, 等. 富硒豆芽培育条件研究[J]. 食品研究与开发, 2019, 40(22): 57–61. MENG Jun, DONG Mengna, ZHANG Junsong, et al. Study on cultivation of selenium-rich bean sprouts[J]. Food Research and Development, 2019, 40(22): 57–61.
- [8] BARRAMEDA-MEDINA Y, BLASCO B, LENTINI M, et al. Zinc biofortification improves phytochemicals and amino-acidic profile in *Brassica oleracea* cv. Bronco[J]. Plant Science, 2017, 258: 45–51.
- [9] 赵婷婷. 富钙发芽糙米的研制及其方便米饭的应用研究[D]. 长春: 吉林大学, 2016. ZHAO Tingting. Study on calcium-enriched germinated brown rice and application of its instant rice[D]. Changchun: Jilin University, 2016.
- [10] 周艳华, 李涛. 糙米发芽富集 γ -氨基丁酸工艺优化的研究[J]. 粮食与食品工业, 2013, 20(5): 17–20. ZHOU Yanhua, LI Tao. Study on technics optimization of the germinated brown rice enriched GABA[J]. Cereal & Food Industry, 2013, 20(5): 17–20.
- [11] 吴小勇, 曾庆孝, 田金河, 等. 绿豆的浸泡工艺及其对绿豆种子萌发的影响研究[J]. 食品工业科技, 2004, 25(2): 104–105, 108. WU Xiaoyong, ZENG Qingxiao, TIAN Jinhe, et al. Study on soaking technology of mung bean and its effect on germination of mung bean seeds[J]. Science and Technology of Food Industry, 2004, 25(2): 104–105, 108.
- [12] 国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中多元素的测定: GB 5009.268—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017. National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China, State Food and Drug Administration. National food safety standard Determination of multielements in foods: GB 5009.268—2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017.
- [13] 中华人民共和国农业部. 稻米中 γ -氨基丁酸的测定 高效液相色谱法: NY/T 2890—2016[S]. 北京: 中国农业出版社, 2016. Ministry of Agriculture of the People's Republic of China. Rice γ -aminobutyric acid determination High performance liquid chromatography: NY/T 2890—2016[S]. Beijing: China Agriculture Press, 2016.
- [14] 顾振新, 陈志刚, 段颖. 钙处理对发芽糙米中淀粉酶活力的影响[J]. 食品与发酵工业, 2002, 28(11): 4–7. GU Zhenxin, CHEN Zhigang, DUAN Ying. Effect of calcium on amylase activity of brown rice during germination time[J]. Food and Fermentation Industries, 2002, 28(11): 4–7.
- [15] 张继武, 郑艺梅, 曾国荣. 富钙发芽糙米的研制[J]. 食品与发酵工业, 2005, 31(10): 54–56. ZHANG Jiwu, ZHENG Yimei, ZENG Guorong. Study on the calcium enriched sprouted brown rice[J]. Food and Fermentation Industries, 2005, 31(10): 54–56.
- [16] 余赛西, 胡广林, 李凯, 等. 大豆在萌发过程中的铁锌营养强化[J]. 现代食品科技, 2018, 34(2): 141–148, 156. YU Saixi, HU Guanglin, LI Kai, et al. Biofortification of iron and zinc in soybean during germination[J]. Modern Food Science and Technology, 2018, 34(2): 141–148, 156.
- [17] 张力, 史英, 梁崇文, 等. 影响种子发芽试验检测结果的因素分析[J]. 种子科技, 2018, 36(9): 105–107. ZHANG Li, SHI Ying, LIANG Chongwen, et al. Analysis of factors affecting the test results of seed germination[J]. Seed Science & Technology, 2018, 36(9): 105–107.
- [18] 徐珠洁, 谢晶, 刘世雄. 真空浸渍对苹果强化营养的研究[J]. 食品科学, 2008, 29(11): 142–146. XU Zhujie, XIE Jing, LIU Shixiong. Study on enrichment effect of vacuum impregnation on fuji apple nutrition[J]. Food Science, 2008, 29(11): 142–146.
- [19] OU K Q, CHENG Y Q, XING Y, et al. Phytase activity in brown rice during steeping and sprouting[J]. Journal of Food Science and Technology, 2011, 48(5): 598–603.
- [20] 张祎, 赵婷婷, 赵炳涵, 等. 发芽糙米富集 GABA 的超声波处理条件优化[J]. 食品研究与开发, 2016, 37(11): 34–39. ZHANG Yi, ZHAO Tingting, ZHAO Binghan, et al. Optimization of ultrasonic treatment for enriching GABA in germinated brown rice[J]. Food Research and Development, 2016, 37(11): 34–39.
- [21] ZHANG Q, XIANG J, ZHANG L Z, et al. Optimizing soaking and germination conditions to improve gamma-aminobutyric acid content in japonica and indica germinated brown rice[J]. Journal of Functional Foods, 2014, 10: 283–291.
- [22] ARAZI T, BAUM G, SNEDDEN W A, et al. Molecular and biochemical analysis of calmodulin interactions with the calmodulin-binding domain of plant glutamate decarboxylase[J]. Plant Physiology, 1995, 108(2): 551–561.