

芽苗菜的营养与功能成分及应用研究进展

朱会霞¹, 贾金霄¹, 孙金旭¹, 张建辉²

(1. 衡水学院生命科学学院 河北衡水 053000; 2. 河北增硕农业技术开发有限公司 河北衡水 053500)

摘要: 芽苗菜是植物种子或其他养分储存器官萌发而成的植株幼苗, 具有丰富的营养素和多种对人体有益的重要成分。综述了不同种类芽苗菜中酚类、黄酮类、 γ -氨基丁酸、维生素、矿物质等重要成分的含量变化, 并对影响芽苗菜富集多种重要生理活性成分的盐类环境、微量元素强化、光环境等因素进行分析。在此基础上对芽苗菜在食品加工、医疗保健等方面的应用价值进行了探讨和总结。芽苗菜作为一种不受季节影响、生长周期短且富含营养素和多种功能性成分的健康蔬菜, 未来将有广阔的发展前景。

关键词: 芽苗菜; 营养; 功能性成分; 食品; 富集

中图分类号: S63

文献标志码: A

文章编号: 1673-2871(2023)09-001-06

Research progress on nutritional and functional components and applications of sprout vegetable

ZHU Huixia¹, JIA Jinxiao¹, SUN Jinxu¹, ZHANG Jianhui²

(1. College of Life Science, Hengshui University, Hengshui 053000, Hebei, China, 2. Hebei Zengshuo Agricultural Technology Development Co., Ltd., Hengshui 053500, Hebei, China)

Abstract: Sprout vegetable is a kind of plant seedlings from the germination of plant seeds, which is rich in nutrients and a variety of important components beneficial to human body. This paper introduced the content changes of phenolic, flavonoid, GABA, vitamin and mineral in different kinds of sprout vegetables. The effects of salt stress, micronutrient enhancement and different wavelengths of light on the enrichment of various physiological active components in sprout vegetables were analyzed. Further, the application value of sprout vegetables in food processing, medical care and other aspects were discussed and summarized. Sprout vegetable is a kind of healthy vegetable which is not affected by season, has a short growth cycle and is rich in nutrients and many functional components. It is prospected that sprout vegetable industry will be greatly developed.

Key words: Sprouted vegetable; Nutrition; Functional components; Food; Enrichment

芽苗菜是指以植物的种子或其他储存养分的器官, 在阴暗或光照条件下, 直接生长出可供食用的嫩芽、芽苗、芽球、幼梢或幼茎^[1]。近年来的研究发现, 芽苗菜具有一定的营养物质富集功能, 可增加原料中的营养物质含量, 甚至生成原来并不具有的活性物质成分, 所以芽苗菜相对其原料来说更具有营养价值。由于芽苗菜成本低、营养丰富, 又具有一定的保健功能, 因此深受广大消费者的喜爱。随着社会经济的发展, 芽苗菜的种类越来越多, 又因原料的不同, 发芽后富集不同功能性成分的芽苗菜具有不同的功效。笔者主要针对市场中常见芽苗菜的营养与功能性成分、作用、营养物质富集的条件以及其在食用、保健、医用方面的应用进行总结,

并展望了芽苗菜未来的发展方向, 为以后芽苗菜的应用研究提供依据和参考。

1 常用于芽苗菜生产的作物种类

芽苗菜多是植物种子萌发而成的, 例如豆类、谷物、假谷物、油籽、蔬菜和草药^[2]。芽苗菜的外观、质地、风味、植物化学成分和营养价值决定了芽苗菜消费和加工的市场潜力^[3]。长期以来, 黄豆芽和绿豆芽一直是我国菜肴中不可缺少的部分。近几十年来, 绿豆芽在美洲、欧洲和非洲越来越受欢迎。豆谷类食物本身以高营养价值、丰富的矿物质及次生代谢产物而被大家所熟知。芽苗菜通常比其种子含有更高浓度的营养素和生物活性化合

收稿日期: 2022-12-26; 修回日期: 2023-06-16

基金项目: 河北省果蔬发酵技术创新中心立项项目(SG2021129, 2022XJZX60)

作者简介: 朱会霞, 女, 教授, 主要研究方向为发酵工程和果蔬加工。E-mail: zhuhuixia@126.com

物^[4]。发芽谷物和豆类的萌发可以提高其营养价值,特别是当发芽持续时间为3~5 d时^[5]。发芽过程激活水解酶并从其植酸盐螯合物中释放营养物质,使其具有生物利用价值,此外维生素也被合成和积累。假谷物是未被充分利用的粮食作物,作为高营养和功能性食品而受到越来越多的关注^[6]。其中,苋菜、藜麦和荞麦在芽苗菜生产中越来越受欢迎。大豆、花生、杏仁、榛子、亚麻籽、芝麻和向日葵等油料作物也可以生产芽苗菜。在蔬菜和草药组中,十字花科的作物广泛用于发芽生产,其次是伞形科、豆科和苋科作物^[2]。

2 芽苗菜的功能性成分

2.1 酚类和黄酮类物质

芽苗菜中含有丰富的酚类物质。酚类化合物不仅具有抗氧化作用,还具有清除自由基、抗病毒等对人体有益的功能^[7]。Perales-Sanchez等^[8]研究发现,苋菜种子萌芽可以增加酚类化合物含量。曹菲菲等^[9]研究发现,绿豆在萌发过程中黄酮含量总体呈上升趋势,在20℃下萌发24 h的绿豆黄酮含量明显高于25℃和30℃,并且在96 h时可达最大值280 mg·100 g⁻¹。赵齐燕等^[10]研究显示,分别用NaCl和CaCl₂单独对豌豆芽苗菜施用都能够富集酚类物质,增强抗氧化性,同时用15 mmol·L⁻¹ NaCl和0.5 mmol·L⁻¹ CaCl₂混合处理也能取得类似的结果。Cardador-Martinez等^[11]研究发现,豆类萌发成为豆芽时,运用控制压强的处理技术(DIC),可以改变黑豆芽中活性成分的浓度,随着豆芽萌发,DIC处理后酚类化合物浓度增加了99%。

黄酮类物质具有很强的抗氧化作用,对人体的健康有益,具有缓解更年期综合征、抗衰老、降低胆固醇水平等作用^[12]。豆类及其芽苗菜中含有丰富的黄酮类化合物。张晓燕等^[13]研究显示,苏品红1号和苏黄2号小豆芽苗菜中总黄酮与总酚含量是其相应种子的1.10~1.39倍。刘素慧等^[14]研究红蓝光质对香椿芽苗菜营养品质的影响,分别用红光、蓝光和红蓝光混合处理红叶香椿和红油香椿,与CK组相比,蓝光处理的红叶香椿芽中总黄酮含量提高29.08%,同时,用红蓝光混合处理的红油香椿芽中总黄酮含量提高24.14%。此外,还有研究发现,以红萝卜、白萝卜、西蓝花、香草和鸡毛菜种子作为原料培育而成的芽苗菜总黄酮含量较高^[15]。植物种子发芽可促进营养与功能性成分变化,人们可以根据需求,改变培育条件,获得富集酚类与黄酮

类物质的芽苗菜,开发保健食品,从而提高芽苗菜的市场利用价值。

2.2 γ -氨基丁酸

γ -氨基丁酸是中枢神经系统中最重要的抑制性神经递质,是一种天然存在的非蛋白质氨基酸,对调节哺乳动物心血管系统有重要作用,具有降血压、抗焦虑、增强记忆力、改善脑机能等生理功能^[16]。种子在萌发过程中, γ -氨基丁酸含量显著增加^[17]。宁亚维等^[18]发现,发芽处理已成为植物富集 γ -氨基丁酸的一种有效手段。在高等植物体内谷氨酸经谷氨酸脱氢酶催化脱羧生成 γ -氨基丁酸,而发芽处理能激活豆类种子中的蛋白酶等相关酶类,同时豆类种子萌发时谷氨酸含量也会显著增加,因此萌发的豆类种子中 γ -氨基丁酸的含量会显著增加^[19]。在李松玉^[17]的研究中,13种豆类芽苗菜中的 γ -氨基丁酸含量较籽粒均有显著提高,其中,与未发芽籽粒中 γ -氨基丁酸含量相比,绿豆G03芽苗菜中 γ -氨基丁酸含量提高幅度最大,可达6.63倍。豆类芽苗菜具有富集 γ -氨基丁酸的优势,所以,未来可作为提取 γ -氨基丁酸的良好材料,也具有制备保健食品的潜力。

2.3 维生素

不同的芽苗菜含有不同种类的维生素,并且与原材料相比,发芽可以提高维生素含量。黄豆芽中含有丰富的维生素B₂、维生素B₁₂;十字花科芽苗菜含有丰富的维生素E、维生素C,尤其是西蓝花芽苗菜中维生素C含量极高,有利于人体生长发育;油菜芽苗菜中富含维生素A、维生素D和维生素E^[1]。荞麦中本不含有维生素C,但通过发芽,其维生素C含量从0增加到1.09 mg·100 g⁻¹^[20]。Mastro-pasqua等^[21]发现,光的质量和强度能有效调节植物中的维生素C水平,而维生素C含量是评价香椿芽苗菜品质的重要指标。刘素慧等^[14]发现,蓝光处理红叶香椿与红油香椿,其芽苗菜中维生素C含量较CK组分别提高了33.80%、13.00%;后续的研究也发现,豆类种子发芽后成为芽苗菜,维生素C含量增加^[22]。

2.4 矿物质

矿物质是构成人体组织的重要成分。种子发芽后的矿物质含量会高于种子本身,这与发芽过程中从周围环境吸收矿物元素、形成富含矿物元素的新代谢成分有关^[23]。大量研究表明,芽苗菜对矿物元素也具有富集现象。路博宇等^[24]对玉米芽苗菜施用5种富锌浸种剂,与对照组相比,施用不同富锌

浸种剂均能显著提高锌含量,最高富集量是对照组的 2.2 倍。在 Pawel 等^[25]的研究中,甘蓝芽可富集硒元素,在加硒强化甘蓝芽的试验中,加硒元素强化的芽苗菜比未强化芽苗菜中的硒含量高几个数量级。新的研究发现,在激光和 6-苄氨基嘌呤(BAP)灌注的豆芽中可以检测到更高的矿物质含量^[26]。不同芽苗菜所富含的矿物质不同,如豌豆芽苗菜中含有丰富的钙、铁;油葵芽苗菜富含铁、钾、锌;苜蓿芽苗菜富含钙、钾等矿物质^[27]。

2.5 其他活性物质

以不同原料发芽而成的芽苗菜具有不同的活性成分。*D*-手性肌醇可促进肝脏脂的代谢,具有降血糖、抗衰老、抗炎、抗氧化等多种生理功能^[28]。宋雨等^[29]研究发现,苦荞种子经发芽后,芽苗菜中所含的 *D*-手性肌醇含量明显提高。卢丞文等^[28]对 *D*-手性肌醇的提取条件进行了优化,在荞麦种子萌发后,*D*-手性肌醇单体含量达到原来的 8 倍左右。枸杞芽中含芸香苷和肌苷,这 2 种活性成分是人体正常生理活动所必需的^[30];萝卜芽苗菜富含硫代葡萄糖苷^[31]。除上述列举的芽苗菜活性成分及作用外,还有多种活性成分物质,如皂苷、生物碱、植物甾醇等。国内外研究者不断探索芽苗菜的培育条件,因原料不同而含有不同的活性成分,并在发芽时发生各种生理变化的芽苗菜具有极大的发展潜力。除市场上已经出现的芽苗菜及检测的活性成分外,还有未被发现的芽苗菜种类及活性成分,需要进一步研究。

3 影响芽苗菜功能性成分富集的因素

3.1 盐类环境

植物为了应对环境胁迫,会产生多种代谢物,如富含矿物质的活性成分、氨基酸、肽、维生素等^[32]。轻度至中度盐度或其他环境条件胁迫,可以激活一些生理和生化机制,引发具有针对性的植物反应,即在一定的胁迫条件下,芽苗菜可富集所需的功能性成分。例如,将硒生物强化玉米粒在发芽期间暴露于轻度 NaCl 胁迫(25 mmol·L⁻¹)下可提高芽苗的产量,增加硒代半胱氨酸的含量,并促进具有抗氧化特性的营养次级代谢物合成^[33]。用 NaCl 与 CaCl₂ 轻度胁迫箭筈豌豆芽苗菜生长,可富集酚类化合物,提高抗氧化能力^[10]。初婷等^[34]研究表明,用 MgSO₄ 处理西蓝花芽苗菜能明显增加总硫苷含量,总酚含量随 MgSO₄ 施用浓度的升高而增加。

3.2 微量元素营养液强化

在无土栽培系统中,可以用对人体健康至关重要或有益的微量元素(包括碘、铁、锌和硒)对蔬菜进行生物强化^[35]。精确控制微量元素浓度,并在没有土壤相互作用的情况下持续将根系暴露于强化营养液中,可以最大限度地提高其在可食用植物部分中的吸收、转运和积累^[2]。用硒纳米颗粒对西蓝花芽进行生物强化,在不影响叶绿素、总类胡萝卜素和总酚含量的同时,还增强了西蓝花芽的抗氧化能力^[36]。低质量浓度(0.1~0.4 g·L⁻¹)MnSO₄ 溶液浸种小麦芽苗菜,对提高过氧化酶活性和维生素 C 含量具有显著促进作用,同时,0.4 g·L⁻¹ MnSO₄ 对 Mn 元素的积累有促进作用^[37]。薛建福等^[38]研究发现,0.1 g·L⁻¹ FeSO₄ 浸种可以富集 Fe,同时大部分的生理活性物质增加,可作为富铁强化剂使用。微量元素在芽苗菜中的强化富集可能与金属离子间存在协同效应有关,也可能是微量元素强化萌发时代谢活动增强,细胞内外物质交换活跃,促进了微量元素的富集^[39]。

3.3 光环境

光是影响植物生长发育的重要环境因素。光环境对种子萌发、幼苗发育、光合生产力、植物代谢和次生代谢物的产生至关重要。当比较白炽灯、荧光灯和发光二极管(LED)红光、绿光、蓝光不同光源对甘蓝芽苗菜的影响时,发现利用 LED 灯作为光源的甘蓝芽苗菜产量最高,其叶绿素、β-胡萝卜素、叶黄素、维生素 C 含量也最高^[40]。此外,与白炽灯或荧光灯相比,在高比例的蓝色(20%)和红色(80%)LED 照明下,西蓝花芽苗菜积累了更高比例的叶绿素、类胡萝卜素、萝卜硫素和矿物质^[41]。

蓝光(400~500 nm)会影响营养积累和叶片生长,对芽苗菜尤为重要^[42]。红光(600~700 nm)是另一个关键因素,可提高植物的生长速度并促进不同植物中色素和化学物质的合成,从而提高营养品质。红光与蓝光相互作用能调节植物反应,当施加适当的光照度时,最佳作物特异性的红光+蓝光可改善生长和产量^[43]。远红光(700~800 nm)有助于植物伸长以及植物生物量积累^[44]。绿光(550 nm)也有助于光合作用和生物量积累,并可能影响继发性代谢^[43]。

豆芽通常在黑暗中生长。与黑暗相比,以中等光子通量密度(110 μmol·m⁻²·s⁻¹)的白光、蓝光和红光处理,增加了萝卜、大豆、绿豆和南瓜 5 d 龄芽中维生素 C 含量和类胡萝卜素、叶绿素和花青素等色

素含量。在光处理下的大豆和南瓜芽中分别观察到可溶性蛋白质和糖含量增加。然而,大豆芽中多酚含量仅随红光的使用量增加而增加。同样,荧光照明、蓝光+红光和蓝光+红光+远红光组合的LED照明处理,增强了总抗氧化活性^[45]。与黑暗相比,照明处理增加了胡萝卜芽中生物活性化合物的含量,2种组合LED处理的酚酸和芦丁含量分别增加了45%和65%,酚类含量增加了32%;此外,蓝光+红光LED联合处理也提高了类胡萝卜素含量^[46]。

对比3种光源,即荧光灯、蓝色(460 nm)LED灯和红色(625 nm)LED灯,光照度为 $35 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 时,普通荞麦芽菜的总酚类物质和总黄酮含量最高;此外,当在蓝光下生长时,普通荞麦芽菜显示出最大的抗氧化活性^[47]。将油菜籽(芸薹属油菜)芽暴露在白光(380 nm)、蓝光(470 nm)、红光(660 nm)和蓝光+红光LED灯照明下进行试验,光周期为16 h,光子通量密度为 $50 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,显示了红色LED灯促进芽苗生长。相比之下,蓝光有效地增加了硫代葡萄糖苷和酚类物质的积累^[48]。同样的蓝光条件下,在 $50 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 的光子通量密度处理条件下,酚类物质、类黄酮和萝卜硫素在西蓝花芽中富集^[49],与龚春燕等^[50]的研究结果相一致。

蓝光、红光和远红光组合并辅以绿光(510 nm)的基础LED光谱使扁豆芽和小麦芽中总酚、 α 生育酚和维生素C含量显著增加,同时也增强了其抗氧化能力^[49]。

适宜的光环境条件可以富集不同芽苗菜中不同的功能性成分,但针对不同物种芽苗菜来获取所需富集的功能性成分,其光环境条件仍需继续探索。

4 芽苗菜的应用价值

4.1 食用价值

芽苗菜是一种绿色营养食品,口感嫩脆,内含蛋白质、脂肪、糖类、膳食纤维及各自特有的活性成分等,营养价值较高,通过简单的烹炒即可食用。目前李晓红等^[51]针对芽苗菜蛋白粉进行研究,经专业评价后,小麦芽苗菜粉的蛋白质营养均衡,荞麦芽苗菜粉的蛋白营养接近鸡蛋蛋白,二者均具有开发为均衡蛋白营养膳食的潜力。游晓清等^[1]研究显示,将新鲜的苦荞芽苗菜打浆后和面,制成营养价值高的苦荞芽苗菜挂面。由于苦荞芽汁的存在,挂面的颜色淡绿、味道清香、口感柔软。霍怡然^[52]将花生芽苗菜与其他芽苗菜和水果混合做成的复合果蔬汁口感好,将其制成冻干粉,对5组大鼠进行灌

胃饮食干预,发现该配方具有明显的减肥效果。

4.2 医疗保健价值

不同种类芽苗菜能富集不同的活性成分,能防止诱发相关的多种疾病。油葵芽苗菜富含多种微量元素,可预防贫血,其中也富含不饱和脂肪酸,经常食用可预防心脑血管疾病;杂粮芽苗菜富含黄酮、手性肌醇、 γ -氨基丁酸、维生素、氨基酸等多种功能性成分,具有降血糖、降血脂、降血压、抗氧化、抗炎等作用^[17]。徐磊^[53]研究发现,薏米发芽后,其降脂与抗氧化作用明显高于薏米种子,避免了高脂血症诱发的肝损伤,也防止肝脏脂肪病变。杂粮在发芽过程中维生素、氨基酸和酚类物质等营养成分的增加,使其具有高效的抗炎作用^[28]。蚕豆中含有左旋多巴,而富含左旋多巴的蚕豆豆芽,具有预防和治疗帕金森综合征的作用^[17]。在医学上, γ -氨基丁酸对脑障碍的症状有很好的疗效^[16]。目前,芽苗菜多用于食疗方面。西蓝花芽中含有丰富的萝卜硫素,萝卜硫素是一种具有抗炎活性的生物活性代谢物,在Li等^[54]的研究中,通过喂食蒸西蓝花芽对炎症性肠病的小鼠模型进行饮食干预,发现能够减轻小鼠结肠炎症状,这种饮食干预可以弥补目前炎症性肠病患者医学疗法的不足。

目前市场上的芽苗菜种类丰富,且具有不同的功效与保健作用。如荞麦芽苗菜含有丰富的黄酮,能扩展和强化人体血管,是高血压和心血管病患者的良好保健食品^[51];豌豆芽苗菜富含胡萝卜素、维生素B₃、维生素C,具有通乳利尿的作用^[17];西蓝花芽苗菜含有丰富的维生素C,具有促进肝脏解毒、增强体质的作用^[50];花生芽苗菜中富含的蛋白质、氨基酸、钾、钙、铁和白藜芦醇,能促进大脑发育,提高免疫力^[19]。多数芽苗菜本身具有多种保健功能,在成为保健品原料方面具有极大潜力。

5 问题与展望

在芽苗菜的培育过程中,可以富集不同类型的营养与功能性成分,但也有活性成分含量随发芽日龄的增加而降低的现象,所以富集不同重要营养物质成分的芽苗菜的培育条件依旧值得更加深入地探索。此外,未被发现的芽苗菜类型及活性成分也需要继续深入发掘。不同芽苗菜在用作日常营养食物材料方面有着巨大的发展空间,同时利用芽苗菜可富集各种营养与功能性成分的优势,研发出具有特殊功效的保健食品,很可能成为未来芽苗菜的研发热点。综上所述,芽苗菜作为一种具有绿色营

养、不受季节影响、生长周期短、相对经济且富含营养与功能性成分等诸多优点的健康蔬菜,相关产品的开发研究有着广阔的发展前景。

参考文献

- [1] 游晓清,孙露,彭镰心,等.非豆类芽苗菜的营养成分生产与加工研究进展[J].食品研究与开发,2021,42(22):179-185.
- [2] EBERT A W. Sprouts and microgreens-novel food sources for healthy diets[J]. Plants-Basel, 2022, 11(4):571.
- [3] XIAO Z L, LESTER G E, PARK E, et al. Evaluation and correlation of sensory attributes and chemical compositions of emerging fresh produce: Microgreens[J]. Postharvest Biology and Technology, 2015, 110:140-148.
- [4] BUTKUTE B, TAUJENIS L, NORKEVICIENE E. Small-seeded legumes as a novel food source. variation of nutritional, mineral and phytochemical profiles in the chain: Raw seeds- sprouted seeds-microgreens[J]. Molecules, 2019, 24(1):133.
- [5] LEMMENS E, MORONI A V, PAGAND J, et al. Impact of cereal seed sprouting on its nutritional and technological properties: A critical review[J]. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2019, 18(1):305-328.
- [6] PIRZADAH T B, MALIK B. Pseudocereals as super foods of 21st century: recent technological interventions[J]. Journal of Agriculture and Food Research, 2020, 2:100052.
- [7] 刘昕皓,魏粉菊,王学顺,等.多酚类化合物的生物活性研究进展[J].中国医药工业杂志,2021,52(4):471-483.
- [8] PERALES- SANCHEZ J X K, REYES- MORENO C, GOMEZ-FAVELA M A, et al. Increasing the antioxidant activity, total phenolic and flavonoid contents by optimizing the germination conditions of amaranth seeds[J]. Plant Foods for Human Nutrition, 2014, 69(3):196-202.
- [9] 曹菲菲,王彦杰,甄润英.不同温度下绿豆萌发速度和主要成分的变化研究[J].食品研究与开发,2018,39(16):50-54.
- [10] 赵齐燕,唐宁,赵德宸,等.NaCl和CaCl₂对箭筈豌豆芽苗菜酚类物质积累与抗氧化性的影响[J].食品与机械,2022,38(7):47-56.
- [11] CARDADOR- MARTINEZ A, MARTINEZ- TEQUITLALPAN Y, GALLARDO- VELAZQUEZ T, et al. Effect of instant controlled pressure-drop on the non-nutritional compounds of seeds and sprouts of common black bean (*Phaseolus vulgaris* L.)[J]. Molecules, 2020, 25(6):1464.
- [12] 曹纬国,刘志勤,邵云,等.黄酮类化合物药理作用的研究进展[J].西北植物学报,2003,23(12):2241-2247.
- [13] 张晓燕,薛晨晨,黄璐,等.不同种皮颜色小豆及其芽苗菜功能性成分与抗氧化能力分析[J].江苏农业科学,2021,49(7):180-185.
- [14] 刘素慧,张立伟.红蓝光质对香椿芽苗菜营养品质的影响[J].中国农业气象,2015,36(3):306-312.
- [15] 胡汉锡,袁庚,贺维维,等.芽苗菜品质分析与综合评价[J].福建农业科技,2022,53(3):20-25.
- [16] 雷娜,鲁亚平.γ-氨基丁酸生理机理研究进展[J].清远职业技术学院学报,2011,4(3):9-11.
- [17] 李松玉.食用豆科作物籽粒和芽苗菜营养成分的研究[D].福州:福建农林大学,2012.
- [18] 宁亚维,马梦戈,杨正,等.γ-氨基丁酸的制备方法及其功能食品研究进展[J].食品与发酵工业,2020,46(23):238-247.
- [19] 陈振,康玉凡.豆类种子及萌发过程中功效性成分研究概述[J].中国食物与营养,2012,18(10):27-32.
- [20] BRAJDES C, VIZIREANU C. Sprouted buckwheat an important vegetable source of antioxidants[J]. Annals of the University Dunarea De Jos of Galati, Fascicle VI- Food Technology, 2012, 36(1):53-60.
- [21] MASTROPASQUA L, BORRACCINO G, BIANCO L, et al. Light qualities and dose influence ascorbate pool size in detached oat leaves[J]. Plant Science, 2012, 183(2):57-64.
- [22] MASTROPASQUA L, DIPIERRO N, PACIOLLA C. Effects of darkness and light spectra on nutrients and pigments in radish, soybean, mung bean and pumpkin sprouts[J]. Antioxidants, 2020, 9(6):558.
- [23] 江惠敏.5种野生蔬菜的繁殖技术和耐盐性研究[D].广州:仲恺农业工程学院,2017.
- [24] 路博宇,王凯,杜天庆,等.不同富锌浸种剂对玉米芽苗菜生长特性及营养品质的影响[J].山西农业科学,2021,49(1):7-11.
- [25] PAWEL Z, PASKO P, GALANTY A. Does selenium fortification of kale and kohlrabi sprouts change significantly their biochemical and cytotoxic properties?[J]. Journal of Trace Elements in Medicine and Biology, 2020, 59:126466.
- [26] ZRIG A, NAJAR B, KORANY S M, et al. The interaction effect of laser irradiation and 6-benzylaminopurine improves the chemical composition and biological activities of linseed (*Linum usitatissimum*) sprouts[J]. Biology(Basel), 2022, 11(10):1398.
- [27] 吴志伟.苦荞芽苗菜培养条件的优化及其品质分析[D].成都:成都大学,2021.
- [28] 卢丞文.荞麦中D-手性肌醇分离提取与纯化研究[D].长春:吉林农业大学,2007.
- [29] 宋雨,邹亮,赵江林,等.苦荞萌发过程中D-手性肌醇含量变化的探究[J].食品科技,2016,41(2):80-83.
- [30] 张惠玲.枸杞的综合开发与利用[J].食品研究与开发,2012,33(2):223-227.
- [31] 赵爽,周羽琪,杨旭妍,等.硒硫互作对白菜芽苗菜硫代葡萄糖苷含量及抗氧化性的影响[J].食品科学,2023,44(1):22-29.
- [32] TEKLIC T, PARADIKOVIC N, SPOLJAREVIC M, et al. Linking abiotic stress, plant metabolites, biostimulants and functional food[J]. Annals of Applied Biology, 2021, 178(2):169-191.
- [33] BENINCASA P, D' AMATO R, FALCINELLI B, et al. Grain endogenous selenium and moderate salt stress work as synergic elicitors in the enrichment of bioactive compounds in maize sprouts[J]. Agronomy(Basel), 2020, 10(5):735.
- [34] 初婷,彭畅,郭丽萍. MgSO₄处理对西蓝花芽苗菜生理活性物质和抗氧化能力的影响[J].食品科学,2018,39(11):53-59.
- [35] ROUPHAEL Y, KYRIACOU M C. Enhancing quality of fresh vegetables through salinity eustress and biofortification applications facilitated by soilless cultivation[J]. Frontiers in Plant Science, 2018, 28(9):1254.

- [36] VICAS S I, CAVALU S, LASLO V, et al. Growth, photosynthetic pigments, phenolic, glucosinolates content and antioxidant capacity of broccoli sprouts in response to nanoselenium particles supply[J]. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 2019, 47(3):821-828.
- [37] 马茹, 薛建福, 张慧芋, 等. MnSO₄浸种对小麦芽苗菜生长和生理活性物质的影响[J]. *种子*, 2021, 40(11):1-7.
- [38] 薛建福, 杜军利, 杨文彪, 等. 不同浓度 FeSO₄浸种对小麦芽苗菜生长和生理活性物质的影响[J]. *种子*, 2020, 39(12):44-50.
- [39] 武伟超, 桑若杰, 刘磊, 等. 发芽、发酵对谷物营养和功能活性成分的影响及其应用研究进展[J]. *食品工业科技*, 2023, 44(7):411-418.
- [40] FIUTAK G, MICHALCZYK M. Effect of artificial light source on pigments, thiocyanates and ascorbic acid content in kale sprouts (*Brassica oleracea* L. var. *sabellica* L.)[J]. *Food Chemistry*, 2020, 330:127189.
- [41] KOPSELL D A, SAMS C E, BARICKMAN T C, et al. Sprouting broccoli accumulate higher concentrations of nutritionally important metabolites under narrow-band light-emitting diode lighting[J]. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 2014, 139(4):469-477.
- [42] ARTES-HERNANDEZ F, CASTILLEJO N, MARTINEZ-ZAMORA L. UV and visible spectrum LED lighting as abiotic elicitors of bioactive compounds in sprouts, microgreens, and baby leaves: A comprehensive review including their mode of action[J]. *Foods*, 2022, 11(3):265.
- [43] PARADISO R, PROIETTI S. Light-quality manipulation to control plant growth and photomorphogenesis in greenhouse horticulture: The state of the art and the opportunities of modern led systems[J]. *Journal of Plant Growth Regulation*, 2021, 41(2):742-780.
- [44] KALAITZOGLOU P, VAN IEPEREN W, HARBINSON J, et al. Effects of continuous or end-of-day far-red light on tomato plant growth, morphology, light absorption, and fruit production[J]. *Frontiers in Plant Science*, 2019, 10:322.
- [45] MASTROPASQUA L, DIPIERRO N, PACIOLLA C. Effects of darkness and light spectra on nutrients and pigments in radish, soybean, mung bean and pumpkin sprouts[J]. *Antioxidants*, 2020, 9(6):558.
- [46] MARTINEZ-ZAMORA L, CASTILLEJO N, GOMEZ P A, et al. Amelioration effect of led lighting in the bioactive compounds synthesis during carrot sprouting[J]. *Agronomy (Basel)*, 2021, 11(2):304.
- [47] NAM T G, KIM D O, EOM S H. Effects of light sources on major flavonoids and antioxidant activity in common buckwheat sprouts[J]. *Food Science and Biotechnology*, 2018, 27(1):169-176.
- [48] PARK C H, KIM N S, PARK J S, et al. Effects of light-emitting diodes on the accumulation of glucosinolates and phenolic compounds in sprouting canola (*Brassica napus* L.)[J]. *Foods*, 2019, 8(2):76.
- [49] YANG L, FANOURAKIS D, TSANIKLIDIS G, et al. Contrary to red, blue monochromatic light improves the bioactive compound content in broccoli sprouts[J]. *Agronomy (Basel)*, 2021, 11(11):2139.
- [50] 龚春燕, 苏娜娜, 陈沁, 等. 不同光质对西蓝花芽苗菜营养品质及抗氧化性的影响[J]. *食品工业科技*, 2018, 39(23):42-49.
- [51] 李晓红, 句荣辉, 王辉, 等. 小麦和荞麦芽苗菜粉营养价值评价[J]. *食品研究与开发*, 2022, 43(3):66-72.
- [52] 霍怡然. 芽菜复合果蔬汁的制作及其减肥功效[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2020.
- [53] 徐磊. 发芽对薏米营养组成、理化特性及生物活性的影响[D]. 江苏无锡: 江南大学, 2017.
- [54] LI Y Y, ZHANG T, HOLMAN J, et al. A specific broccoli sprout preparation reduces chemically-induced colitis via gut microbiota[J]. *Current Developments in Nutrition*, 2022, 6(1):307.