

鹰嘴豆资源及其异黄酮类物质研究进展

傅樱花, 李正磊, 刘莹洁

(新疆大学生命科学与技术学院, 新疆生物资源基因工程重点实验室, 新疆 乌鲁木齐 830046)

摘要: 鹰嘴豆营养丰富, 是世界上重要的消费食用豆类, 对人体有较为突出的保健作用。已有研究表明, 鹰嘴豆是食品黄酮类物质的重要来源, 其中异黄酮具有多种生理功能和药用价值, 其存在形式和代谢方式对其消化吸收性及生物活性有很大影响。本文对鹰嘴豆资源及其营养价值、加工现状进行了综述, 对鹰嘴豆异黄酮的种类、存在形式、生物转化及其降血糖活性研究进展进行了阐述, 以期为进一步科学有效地利用鹰嘴豆资源提供参考。

关键词: 鹰嘴豆; 异黄酮; 生物转化; 降血糖活性

Research Progress on Chickpea Resource and Isoflavones

FU Ying-hua, LI Zheng-lei, LIU Ying-jie

(Xinjiang Key Laboratory of Biological Resources and Genetic Engineering, College of Life Science and Technology, Xinjiang University, Urumqi 830046, China)

Abstract: Chickpea (*Cicer arietinum* L.) is an important pulse crop grown and consumed all over the world, which has a good nutritional profile, as well as reported medicinal properties and health benefits. Chickpea is a good food source of flavonoids, including isoflavones that are so-called phytoestrogens. The chemical forms of isoflavones and metabolites can extent their absorption and bioactivities. This paper reviewed the nutrition value and status of chickpea processing, and the chemical structures and biological conversion of isoflavones in chickpea. Also, bioactivities of chickpea isoflavones, such as lowering blood sugar, were depicted in this review, aiming to provide references for the application of chickpea resources in the future.

Key words: chickpea; isoflavones; biological conversion; bioactivity of lowering blood sugar

中图分类号: S529; TS201.4 文献标识码: A DOI: 10.3969/j.issn.1009-6221.2021.03.020

鹰嘴豆(*Cicer arietinum* L.), 别名鸡豌豆、桃豆、脑豆子, 其栽培历史悠久, 起源于亚洲西部和近东地区^[1], 是世界上栽培面积较广的食用豆类品种之一。全世界生产鹰嘴豆的国家约有 50 多个, 其中生产面积较大的国家是印度、澳大利亚、伊朗、墨西哥、缅甸、坦桑尼亚、土耳其、巴基斯坦等^[2]。有文献显示, 世界鹰嘴豆产量为 1 470 万 t, 已成为世界第三大豆类^[3], 其中

印度和巴基斯坦是世界上最重要的鹰嘴豆生产国。

1 鹰嘴豆的分布、种类及特点

鹰嘴豆主要分布在温暖且较干旱的地区, 具有耐旱、耐寒、耐贫瘠、根系发达、根瘤多而大、固氮能力较强的特点, 对于保持水土和生态环境治理有积极作用^[4]。我国鹰嘴豆主要分布于新疆、青海、甘肃和云南

基金项目: 新疆维吾尔自治区自然科学基金面上项目(2018D01C058)

作者简介: 傅樱花(1972—), 女, 汉族, 博士, 副教授, 研究方向: 新疆特色资源研究开发及其功能性评价。

等省。新疆鹰嘴豆主要分布在北疆冷凉山区,木垒县丘陵山区海拔1 200~1 500 m,属干旱温带荒漠气候,夏季气候凉爽,出产的鹰嘴豆品质好、产量高、有机质含量较高^[5]。目前新疆木垒县鹰嘴豆种植面积达6 666.67 hm²,占我国鹰嘴豆种植面积的83%。

不同的鹰嘴豆栽培品种其形状、大小及颜色不同,根据颜色、地理分布及栽培方法可将鹰嘴豆分为卡布里类型鹰嘴豆(Kabuli chickpea,起源于地中海及中东地区)和迪西类型鹰嘴豆(Desi chickpea,起源于印度)。卡布里鹰嘴豆和迪西鹰嘴豆在种皮、粗纤维及微量元素上有区别^[6],卡布里鹰嘴豆籽粒较大,种子质量通常为0.2~0.6 g,奶白色,外观品质较好,适宜直接食用;迪西鹰嘴豆籽粒较小,种子质量为0.1~0.3 g,褐色,内在品质较好,适宜加工后食用^[7-8]。迪西类型约占鹰嘴豆总面积的80%~85%,主要生长在亚洲和非洲,卡布里类型鹰嘴豆主要生长在西亚、北非、北美和欧洲^[9]。

2 鹰嘴豆的营养价值

鹰嘴豆是一种重要的豆类作物,其碳水化合物和蛋白质占干种子总质量的80%,是碳水化合物和蛋白质的良好来源^[10]。鹰嘴豆所含蛋白质为完全型蛋白质,富含谷类蛋白质较为缺乏的赖氨酸,其赖氨酸含量是燕麦的2倍以上,若将鹰嘴豆与大米、面粉按适当比例搭配食用,可起到蛋白质互补作用。同时鹰嘴豆所含18种氨基酸当中,包含了人体必需的8种氨基酸,这8种必需氨基酸与人体需要比例极为相似,对儿童智力发育、骨骼生长以及中老年强身健体都具有良好的效果。鹰嘴豆的蛋白质品质优于黑豆、绿豆和红豆,体外蛋白质消化率(65.3%~79.4%)高于木豆(60.4%~74.4%)、绿豆(67.2%~72.2%)和大豆(62.7%~71.6%)^[6]。鹰嘴豆蛋白质含量与黑豆、小扁豆、红芸豆和白芸豆相比没有显著差异。鹰嘴豆中的总碳水化合物含量高于其他豆类,包括单糖(核糖、葡萄糖、半乳糖和果糖)、二糖(蔗糖和麦芽糖)、低聚糖(水苏糖、棉子糖等)、淀粉和膳食纤维^[11]。鹰嘴豆籽粒淀粉含量约为40%~60%^[12],比燕麦(64.3%)、苦荞(65.9%)、甜荞(73.11%)、玉米(72.2%)等低。任顺成等^[13]对鹰嘴豆、饭豆、绿豆的淀粉性质进行比较,表明鹰嘴豆淀粉热糊稳定性和冷糊稳定性最好。膳食纤维是人类小肠中植物性食物不可消化的部分,由多糖、低聚糖、木质素等植物性成分组成。鹰嘴豆粗纤维含量相对较高,与燕麦(1%)、苦荞(1.62%)、甜荞(1.01%)相比,迪西鹰嘴豆粗纤维含量为7%~9%,卡布里鹰嘴豆为3%~5%,

具有降低血糖、胆固醇的作用。鹰嘴豆脂肪含量较低,约为5%~6%,所含的脂肪大多是对人体有利的不饱和脂肪酸,如油酸、亚油酸、棕榈酸等,油酸和亚油酸约占总脂肪酸的80%左右^[14]。鹰嘴豆油脂中包含菜油甾醇、 β -谷甾醇、豆甾醇等固醇物质^[15]。不同类型鹰嘴豆种子中脂肪酸质量分数差异显著,同一类型不同鹰嘴豆品种中脂肪酸质量分数也有显著差异^[16]。鹰嘴豆富含镁、铁、锌、锰、铜等有重要生理功能的微量营养元素^[17],其中铁含量比其他豆类中高91%,可达47 mg/100 g干籽粒。徐鑫等^[18]采用等离子体发射光谱仪法研究发现,4个不同品种鹰嘴豆中微量元素的含量存在差异。鹰嘴豆是叶酸和生育酚的良好来源,水溶性维生素如核黄素、泛酸和吡哆醇含量较其他豆类更高^[19]。

此外,关于鹰嘴豆其他化学成分的研究也有报道。李晓静等^[20]经光谱数据分析,从鹰嘴豆中分离并鉴定出4种化合物的结构,分别为大豆精醇A、 β -香树脂醇、 β -谷甾醇和大豆皂苷。陈玲芳等^[21]从鹰嘴豆干种子中分离得到7种化合物,分别为亚油酸、 β -谷甾醇、对羟基苯甲酸、腺苷、1,2-苯二甲酸二(2-甲基丙基)酯、1-乙基- α -L-半乳糖苷、蔗糖。

3 鹰嘴豆的加工

通过研究鹰嘴豆粉的物理性质、功能性质以及鹰嘴豆食品的流变学性质,认为鹰嘴豆具有很大的潜在应用价值。Summo等^[22-23]分析研究不同谷物的化学性质和质构性质对半成品及汉堡的消费者可接受性的影响,并阐述不同加工方法对罐装卡布里鹰嘴豆泥的化学组成及营养价值的影响。Gobbetti等^[24]通过发酵的方式提高鹰嘴豆焙烤制品的营养价值;Ma等^[25]利用鹰嘴豆分离蛋白的乳化性、增强风味及质构性质对产品配方进行改良。金爽等^[26]对固载纳豆菌发酵鹰嘴豆的条件及影响因素进行研究。目前鹰嘴豆加工制品主要有鹰嘴豆粉、鹰嘴豆奶粉、鹰嘴豆面粉、鹰嘴豆饅及休闲食品等。Moreira-Araujo等^[27]将鹰嘴豆加入牛肺及玉米中,研制出针对学龄前儿童强化铁的休闲食品。此外,加工储藏手段对鹰嘴豆产品的销售及消费量影响很大,鹰嘴豆储存过程中,通过密封储藏技术能够抑制霉菌生长以及霉菌毒素的产生,从而保持鹰嘴豆的发芽品质^[28]。杜高发等^[29]对鹰嘴豆发芽过程中蛋白质、氨基酸、核黄素、异黄酮、膳食纤维的变化规律进行研究,希望利用发芽过程中产生的一系列酶类降低或消除抗营养因子,改善豆类种子营养组成和加工特性。

4 鹰嘴豆中的异黄酮物质

黄酮类化合物是植物经光合作用产生的一大类化合物,其中异黄酮主要有3类,以游离型及糖苷型等12种形式存在,异黄酮在大豆及其制品中含量为0.05%~0.4%。马脩然等^[30]利用固相萃取-高效液相色谱(HPLC)紫外光谱法检测大豆及大豆制品等,发现其中存在黄豆黄素、黄豆黄苷、大豆苷、大豆苷元、染料木素、染料木苷、鹰嘴豆芽素A等异黄酮物质。Zhao等^[31]对豆腐乳清中的异黄酮化合物进行分析,发现豆腐乳清中的异黄酮主要为染料木苷、黄豆苷、黄豆黄苷。

鹰嘴豆作为一种高营养豆类资源,同时也是膳食异黄酮类物质的重要来源。研究表明,鹰嘴豆芽素A是鹰嘴豆中含量最高的异黄酮物质,占鹰嘴豆总异黄酮的30%,其次是黄豆苷元^[32]。Campos-Vega等^[33]研究发现,鹰嘴豆中含有芒柄花素、染料木素和大豆黄素。Fu等^[34]的研究结果显示,乳酸菌发酵鹰嘴豆乳过程中,发现鹰嘴豆中存在大豆苷、染料木苷、大豆苷元及染料木黄酮等异黄酮物质。赵堂彦等^[35]发现鹰嘴豆芽素A、芒柄花素及大豆皂苷Bb是存在于鹰嘴豆中的异黄酮物质。谭永霞等^[36]对鹰嘴豆中的异黄酮进行分离、纯化,检测出鹰嘴豆中含有鹰嘴豆芽素A和芒柄花素及大豆皂苷Bb是存在于鹰嘴豆中的异黄酮物质。许风成^[37]利用硅胶柱色谱、重结晶等技术手段,对鹰嘴豆黄酮化合物进行分离、纯化,从鹰嘴豆的乙酸乙酯提取物中分离得到染料木素和槲皮素。Gao等^[38]研究表明,在不同发芽条件下鹰嘴豆芽中的鹰嘴豆芽素A和芒柄花素都显著增加,而染料木素在萌发过程中含量降低。杜高发等^[29]的研究结果显示,鹰嘴豆异黄酮含量随发芽时间的延长而持续增加。陈有军等^[39]通过观察萌芽鹰嘴豆主要异黄酮的变化发现,鹰嘴豆芽素A和芒柄花素主要存在于胚根和胚芽中,且在萌芽过程中含量逐渐增加。张玲等^[40]研究发现,发芽促进了鹰嘴豆芽中异黄酮芒柄花素和鹰嘴豆芽素A的合成,鹰嘴豆经适当发芽处理后,异黄酮类物质的含量增加几百倍。Perez-Martin等^[41]利用高效液相色谱-二级质谱(HPLC-MS/MS)对鹰嘴豆和小扁豆的异黄酮含量进行分析,结果表明,鹰嘴豆和小扁豆的异黄酮含量存在差异,而且不同种、不同亚种以及不同品种的鹰嘴豆异黄酮含量也不同。

5 鹰嘴豆中异黄酮的生物转化

异黄酮在植物体内大部分与糖结合成苷类或碳

糖基的形式存在,也有以游离形式存在。有研究表明,异黄酮的糖苷形式需要转化为非结合态的苷元形式,才能在小肠中被吸收,而且苷元形式的异黄酮能够结合雌激素受体位点,具有类似人体雌二醇的功能,因此具有更强的生理活性^[42]。普通豆类食品中的异黄酮主要以结合态糖苷形式存在,因此有必要采取一定措施促使结合态的糖苷异黄酮向游离态的苷元异黄酮进行转化。目前国内外主要是利用乳酸菌和双歧杆菌对豆乳中的异黄酮进行转化^[43],有研究表明,在豆豉发酵过程中,苷元从结合状态的糖苷中释放出来,并在豆豉中不断积累^[44]。豆乳经魏斯氏菌发酵后,其中的糖苷98%~99%发生了水解,而且苷元的量有所增加^[45]。韩国大豆发酵制品Cheonggukjang中糖苷异黄酮的量在发酵过程中减少,而苷元异黄酮的量有所增加^[46]。研究还发现,干酪乳杆菌(*Lactobacillus casei*)在豆乳发酵过程中分泌的 β -葡萄糖苷酶,可以将豆乳中糖苷物质的1,6-葡萄糖苷键水解成葡萄糖基和糖苷配基^[47]。

有关鹰嘴豆中异黄酮的生物转化研究报道较少。Fu等^[34]研究发现,保加利亚乳杆菌和嗜热链球菌发酵鹰嘴豆酸奶过程中,对糖苷异黄酮进行了一定程度的苷元异黄酮转化,有利于提高鹰嘴豆异黄酮物质的生物活性和消化吸收性。因此,利用乳酸菌产 β -葡萄糖苷酶对鹰嘴豆异黄酮进行转化可能成为今后的研究方向。

6 鹰嘴豆中异黄酮的降血糖活性

异黄酮是普遍存在于豆类中的次级代谢产物,国内外大量研究证明,异黄酮类化合物在辅助治疗糖尿病方面具有较好的生物活性^[48],能够调节糖尿病患者血糖水平。朱晓丹等^[49]研究发现,天然产物中黄酮、多酚及生物碱类化合物因具有多靶点多通路的特点,在治疗和预防2型糖尿病方面具有重要作用。Jin等^[50]研究显示,大豆胚轴异黄酮对糖尿病大鼠具有降血糖作用,其作用机理可能是抑制小肠对糖的消化和葡萄糖的吸收。Qiu等^[51]发现,刺芒柄花素能够促进胰岛 β 细胞再生、胰岛素分泌、肝糖原合成和肝糖酵解。Oza等^[52]研究发现,刺芒柄花素可降低2型糖尿病患者的胰岛素抵抗,降低血糖,这可能与其在胰腺组织中SIRT1表达增加有关。Duru等^[53]认为,异黄酮可以降低糖尿病患者的胰岛素抵抗和炎症,改善血脂参数,具有抗2型糖尿病的潜能。

多项研究报道,鹰嘴豆异黄酮具有一定的降血糖功能。Wei等^[54]研究发现,鹰嘴豆异黄酮衍生物具有

较好的降血糖活性,几种异黄酮复合降糖活性比单一异黄酮更高。Azizi 等^[55]研究表明,鹰嘴豆芽素 A 能够降低空腹血糖水平,其机理可能是增加胰岛素分泌,从而增加组织对葡萄糖的吸收。Li 等^[56]认为,合成的鹰嘴豆染料木素及其衍生物具有较好的降糖活性,可以作为效力很强的降血糖制剂。Haneishi 等^[57]研究发现,从鹰嘴豆中提取的染料木素不仅可用于治疗 2 型糖尿病,还可刺激 1 型糖尿病患者的胰岛素释放。鹰嘴豆粗黄酮物质能够降低糖尿病小鼠的血清胆固醇,并有效调节和控制糖尿病小鼠血糖水平。

7 展望

新疆是我国鹰嘴豆的主要产区,鹰嘴豆营养丰富,在人们的膳食中占有重要地位,而且在民族医药中有广泛应用,因此对于鹰嘴豆的开发、利用具有非常大的资源优势,但我国缺乏鹰嘴豆的品种改良及其功能性成分的相关研究。大力开发鹰嘴豆深加工产品,积极开展鹰嘴豆生物活性成分的提取制备及功能评价研究,对今后更加科学有效地利用鹰嘴豆资源,推动鹰嘴豆产业的发展具有重要意义。

参考文献:

- [1] 张金波,苗昊翠,王威,等. 鹰嘴豆的应用价值及其研究与利用[J]. 作物杂志,2011(1):10-12. DOI: 10.3969/j.issn.1001-7283.2011.01.003.
- [2] SINGH K B. Chickpea (*Cicer arietinum* L.)[J]. Field Crops Research, 1997,53(1-3): 161-170. DOI:10.1016/s0378-4290(97)00029-4.
- [3] SUMMO C, ANGELIS D D, RICCIARDI L, et al. Nutritional, physico-chemical and functional characterization of a global chickpea collection[J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2019,84:1-9. DOI:10.1016/j.jfca.2019.103306.
- [4] 地力扎提·多力坤. 鹰嘴豆种植气候条件分析及高产对策[J]. 现代农业科技,2019(12):75,78. DOI:10.3969/j.issn.1007-5739.2019.12.049.
- [5] 季良,彭琳,孙广平,等. 新疆优势特色豆类作物简介[J]. 新疆农业科技,2019(2):22-23. DOI:10.3969/j.issn.1007-3574.2019.02.012.
- [6] KAUR M, SINGH N, SODHI N S. Physicochemical, cooking, textural and roasting characteristics of chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars[J]. Journal of Food Engineering, 2005, 69(4):511-517. DOI:10.1016/j.jfoodeng.2004.09.002.
- [7] DAVIES S L, TUMER N C, SIDDIQUE K H M, et al. Seed growth of desi and kabuli chickpea(*Cicer arietinum* L.) in a short-season Mediterranean-type environment[J]. Australian Journal of Experimental Agriculture,1999, 39(2): 181-188. DOI:10.1071/ea98134.
- [8] MOHAMMADI K. Nutritional composition of Iranian desi and kabuli chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars in autumn sowing[J]. International Journal of Agricultural and Biosystems Engineering,2015,9(5):514-517. DOI:10.5281/zenodo.1106401.
- [9] PANDE S, SIDDIQUE K H M, KISHORE G K, et al. Ascochyta blight of chickpea(*Cicer arietinum* L.): a review of biology, pathogenicity, and disease management[J]. Australian Journal of Agricultural Research,2005,56:317-332. DOI:10.1071/ar04143.
- [10] CHIBBAR R, AMBIGAIPALAN P, HOOVER R. Molecular diversity in pulse seed starch and complex carbohydrates and its role in human nutrition and health[J]. Cereal Chemistry, 2010,87(4):342-352. DOI:10.1094/cchem-87-4-0342.
- [11] JUKANTI A K, GAUR P M, GOWA C L, et al. Nutritional quality and health benefits of chickpea (*Cicer arietinum* L.): A review[J]. British Journal of Nutrition,2012,108(S1): 11-26. DOI:10.1017/s0007114512000797.
- [12] MARCONI E, RUGGERI S, CAPPELLONI M, et al. Physico-chemical nutritional and microstructural characteristics of chickpea(*Cicer arietinum* L.) and common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) following microwave cooking[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2000, 48(12):5986-5994. DOI: 10.1021/jf0008083.
- [13] 任顺成,李翠翠,邓颖颖. 鹰嘴豆、饭豆、绿豆淀粉性质的比较[J]. 中国粮油学报,2011,26(1):61-64.
- [14] 张志强,马波兰,江英. 鹰嘴豆乳饮料的研制[J]. 四川食品与发酵,2006,42(4):41-44. DOI:10.3969/j.issn.1674-506X.2006.04.012.
- [15] VENKIDASAMY B, SELVARAJ D, NILE A S, et al. Indian pulses: a review on nutritional, functional and biochemical properties with future perspectives[J]. Trends in Food Science & Technology,2019,88: 228-242. DOI:10.1016/j.tifs.2019.03.012.
- [16] 王威,徐麟,肖菁,等. 鹰嘴豆脂肪酸组成及其遗传多样性分析[J]. 西北农业学报,2020,29(2):231-237. DOI:10.7606/j.issn.1004-1389.2020.02.009.
- [17] 张玲,阿吉艾可拜尔·艾萨,夏作理. 迪西鹰嘴豆和卡布里鹰嘴豆微量元素含量的分析比较[J]. 农产品加工, 2007(10): 70-71. DOI:10.3969/j.issn.1671-9646-b.2007.10.023.
- [18] 徐鑫,于明,吴新风,等. 不同品种鹰嘴豆中微量元素及总黄酮含量的比较[J]. 浙江农业科学,2016,57(8):1246-1248. DOI:10.16178/j.issn.0528-9017.20160830.
- [19] LEBIEDZINSKA A, SZEFER P. Vitamins B in grain and cereal-grain food, soy-products and seeds[J]. Food Chemistry, 2006, 95(1):116-122. DOI:10.1016/j.foodchem.2004.12.024.
- [20] 李晓静,阿吉艾克拜尔·艾萨,程珍,等. 维药鹰嘴豆的化

- 学成分研究[J]. 现代药物与临床,2010,25(3):188-190.
- [21] 陈玲芳, 杨新洲, 熊慧, 等. 鹰嘴豆的化学成分研究[J]. 亚太传统医药,2012,8(7):41-43. DOI:10.3969/j.issn.1673-2197.2012.07.021.
- [22] SUMMO C, CENTOMANI I, PARADISO V M, et al. The effects of the type of cereal on the chemical and textural properties and on the consumer acceptance of pre-cooked, legume-based burgers[J]. LWT-Food Science and Technology,2016,65:290-296. DOI:10.1016/j.lwt.2015.08.009.
- [23] SUMMO C, DE ANGELIS D, ROCHETTE I, et al. Influence of the preparation process on the chemical composition and nutritional value of canned purée of kabuli and Apulian black chickpeas[J]. Heliyon,2019,5(3):01361. DOI:10.1016/j.heliyon.2019.e01361.
- [24] GOBETTI M, DE ANGELIS M, DI CAGON R, et al. The sourdough fermentation is the powerful process to exploit the potential of legumes, pseudo-cereals and milling by-products in baking industry[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2019, 60(3):1-16. DOI:10.1080/10408398.2019.1631753.
- [25] MA Z, BOYE J I, SIMPSON B. Preparation of salad dressing emulsions using lentil, chickpea and pea protein isolates: a response surface methodology study[J]. Journal of Food Quality,2016,39(4):274-291. DOI:10.1111/jfq.12190.
- [26] 金爽, 谭金燕, 白秀云, 等. 固载纳豆菌发酵鹰嘴豆和大豆溶栓活性的比较研究[J]. 食品科技,2016,41(3):14-17. DOI:10.13684/j.cnki.spkj.2016.03.003.
- [27] MOREIRA-ARAUJO R S R, ARAUJO M A M, AREAS J A G. Fortified food made by the extrusion of a mixture of chickpea, corn and bovine lung controls iron-deficiency anaemia in preschool children[J]. Food Chemistry, 2008, 107(1): 158-164. DOI:10.1016/j.foodchem.2007.07.074.
- [28] ALEMAYEHU S, ABAY F, AYIMUT K M, et al. Evaluating different hermetic storage technologies to arrest mold growth, prevent mycotoxin accumulation and preserve germination quality of stored chickpea in Ethiopia[J]. Journal of Stored Products Research, 2020,85:1-9. DOI:10.1016/j.jspr.2019.101526.
- [29] 杜高发, 吴翠华, 温雅婷, 等. 鹰嘴豆发芽过程中部分营养成分的变化规律[J]. 食品科学技术学报, 2018, 36(4):82-86. DOI:10.3969/j.issn.2095-6002.2018.04.012.
- [30] 马翀然, 张洛莎, 王鹏, 等. 固相萃取-反相高效液相色谱测定食品中大豆异黄酮含量的方法研究[J]. 中国酿造, 2018,37(11):147-153. DOI:10.11882/j.issn.0254-5071.2018.11.030.
- [31] ZHAO C C, KIM P H, EUN J B. Influence of high-intensity ultrasound application on the physicochemical properties, isoflavone composition, and antioxidant activity of tofu whey[J]. LWT-Food Science and Technology,2020,117:1-8. DOI:10.1016/j.lwt.2019.108618.
- [32] ZHAO S, ZHANG L, GAO P, et al. Isolation and characterization of the isoflavones from sprouted chickpea seeds[J]. Food Chemistry, 2009, 114(3):869-873. DOI:10.1016/j.foodchem.2008.10.026.
- [33] CAMPOS-VEGA R, LOARCA-PINA G, OOMAH B D. Minor components of pulses and their potential impact on human health[J]. Food Research International,2010,43:461-482. DOI:10.1016/j.foodres.2009.09.004.
- [34] FU Y H, ZHANG F C. Changes in isoflavone glucoside and aglycone contents of chickpea yoghurt during fermentation by *Lactobacillus bulgaricus* and *Streptococcus thermophilus* [J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2013,37:744-750. DOI:10.1111/j.1745-4549.2012.00713.x.
- [35] 赵堂彦, 孟茜, 王琴. 鹰嘴豆水提物对 α -葡萄糖苷酶的抑制作用研究[J]. 食品研究与开发, 2016,37(5):4-7. DOI:10.3969/j.issn.1005-6521.2016.05.002.
- [36] 谭永霞, 孙玉华, 陈若芸. 鹰嘴豆化学成分研究[J]. 中国中药杂志, 2007,32(16):1650-1652. DOI:10.3321/j.issn:1001-5302.2007.16.012.
- [37] 许凤成. 鹰嘴豆黄酮的提取、分离纯化及初步结构表征[D]. 石河子:石河子大学,2013.
- [38] GAO Y, YAO Y, ZHU Y Y, et al. Isoflavone content and composition in chickpea (*Cicer arietinum* L.) sprouts germinated under different conditions[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry,2015,63(10): 2701-2707. DOI:10.1021/jf5057524.
- [39] 陈有军, 严群超, 李杰. 萌芽鹰嘴豆主要异黄酮变化规律及分布研究[J]. 中国食物与营养, 2016,22(12): 61-63. DOI:10.3969/j.issn.1006-9577.2016.12.015.
- [40] 张玲, 王重, 夏作理. 发芽促进了鹰嘴豆芽中异黄酮芒柄花素和鹰嘴豆芽素 A 的合成[J]. 营养学报, 2010, 32(6): 615-617. DOI:10.13325/j.cnki.acta.nutr.sin.2010.06.016.
- [41] PEREZ-MARTIN L, BUSTAMANTE-RANGEL M, DELGADO-ZAMARRENO M M. Classification of lentils, chickpeas and beans based on their isoflavone content[J]. Food Analytical Methods,2017,10(5):1191-1201. DOI: 10.1007/s12161-016-0675-3.
- [42] SETCHELL K D R, BROWN N M, ZIMMER-NECHEMIAS L. Evidence for lack of absorption of soy isoflavone glycosides in humans, supporting the crucial role of intestinal metabolism for bioavailability[J]. American Journal of Clinic Nutrition, 2002,76(2):447-453. DOI:10.1093/ajcn/76.2.447.
- [43] ELGHALI S, MUSTAFA S, AMID M. Bioconversion of daidzein to equol by *Bifidobacterium breve* 15700 and *Bifidobacterium longum* BB536[J]. Journal of Functional Foods, 2012, 4(4):736-745. DOI:10.1016/j.jff.2012.04.013.
- [44] KLUS K, BARZ W. Formation of polyhydroxylated isoflavones from the isoflavones genistein and biochanin A by bacteria

- isolated from tempe[J]. *Phytochemistry*, 1998,47(6):1045–1048. DOI:10.1016/s0031-9422(98) 80069-1.
- [45] CHUN J, KIM J S, KIM J H. Enrichment of isoflavone aglycones in soymilk by fermentation with single and mixed cultures of *Streptococcus infantarius* 12 and *Weissella* sp. 4 [J]. *Food Chemistry*, 2008,109(2): 278–284. DOI: 10.1016/j.foodchem.2007.12.024.
- [46] CHO K M, HONG S Y, MATH R K, et al. Biotransformation of phenolics(isoflavones, flavanols and phenolic acids) during the fermentation of *cheonggukjang* by *Bacillus pumilus* HY1 [J]. *Food Chemistry*, 2009, 114(2):413–419. DOI:10.1016/j.foodchem.2008.09.056.
- [47] OTIENO D O, ASHTON J F, SHAH N P. Role of microbial strain and storage temperatures in the degradation of isoflavone phytoestrogens in fermented soymilk with selected β -glucosidase producing *Lactobacillus casei* strains[J]. *Food Research International*, 2007,40(3):371–380. DOI:10.1016/j.foodres.2006.10.020.
- [48] VASILYEV P M, LUZINA O, BABKOV D A, et al. Studying dependences between the chemotype structure of some natural compounds and the spectrum of their targeted activities correlated with the hypoglycemic effect[J]. *Journal of Structural Chemistry*, 2019,60(11):1827–1832. DOI:10.1134/S0022476619110179.
- [49] 朱晓丹,江冰洁,刘新元,等.天然产物中黄酮多酚及生物碱类化合物治疗2型糖尿病研究进展[J]. *中国现代中药*, 2019, 21(11): 1592–1598. DOI:10.13313/j.issn.1673-4890.20190305001.
- [50] JIN M, SHEN M H, JIN M H, et al. Hypoglycemic property of soy isoflavones from hypocotyl in Goto-Kakizaki diabetic rats [J]. *Journal of Clinical Biochemistry and Nutrition*, 2018,62(2): 148–154. DOI:10.3164/jcfn.17-68.
- [51] QIU G Z, TIAN W, HUAN M, et al. Formononetin exhibits anti-hyperglycemic activity in alloxan-induced type 1 diabetic mice[J]. *Experimental Biology and Medicine*, 2017,242(2):223–230. DOI:10.1177/1535370216657445.
- [52] OZA M, KULKARNI Y A. Formononetin treatment in type 2 diabetic rats reduces insulin resistance and hyperglycemia[J]. *Frontiers in Pharmacology*, 2018,9:1–11. DOI:10.3389/fphar.2018.00739.
- [53] DURU K C, KOVALEVA E G, DANILOVA I G, et al. The potential beneficial role of isoflavones in type 2 diabetes mellitus[J]. *Nutrition Research*, 2018,59:1–15. DOI:10.1016/j.nutres.2018.06.005.
- [54] WEI Y, LI P S, LI B, et al. Study of the hypoglycemic activity of derivatives of isoflavones from *Cicer arietinum* L [J]. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2017,2017(3):1–18. DOI:10.1155/2017/8746823.
- [55] AZIZI R, GOODARZI M T, SALEMI Z. Effect of biochanin A on serum visfatin level of streptozocin-induced diabetic rats [J]. *Iranian Red Crescent Medical Journal*, 2014,16(9):1–7. DOI:10.5812/ircmj.15424.
- [56] LI P S, SHI X J, WEI Y, et al. Synthesis and biological activity of isoflavone derivatives from chickpea as potent anti-diabetic agents[J]. *Molecules*, 2015,20(9):17016–17040. DOI: 10.3390/molecules200917016.
- [57] HANEISHI A, TAKAGI K, ASANO K, et al. Genistein stimulates the insulin-dependent signaling pathway[J]. *Frontiers in Bioscience (Elite edition)*, 2011,3(4):1534–1540.

收稿日期:2020-06-24

(上接第129页)

- [11] 刘云芬,廖玲燕,段振华,等.不同处理对鲜切莴苣褐变及贮藏品质的影响[J]. *保鲜与加工*, 2020,20(4):15–20. DOI: 10.3969/j.issn.1009-6221.2020.04.003.
- [12] KOLNIAK-OSTEK J, OSZMIAŃSKI J. Characterization of phenolic compounds in different anatomical pear (*Pyrus communis* L.) parts by ultra-performance liquid chromatography photodiode detector-quadrupole/time of flight-mass spectrometry (UPLC-PDA-Q/TOF-MS)[J]. *International Journal of Mass Spectrometry*, 2015, 392: 154–163. DOI: 10.1016/j.ijms.2015.10.004.
- [13] 周燕燕. 金银花多酚氧化酶提取纯化、酶学性质及抑制效应研究[D]. 洛阳: 河南科技大学, 2014: 9–38. DOI: 10.7666/d.D01142511.
- [14] 张利娟,师俊玲.无核白葡萄热风干燥过程中总酚与抗氧化活性的变化[J]. *食品科学*, 2013, 34(5): 55–59. DOI: 10.7506/spkx1002-6630-201305012.

收稿日期:2020-06-12