

张婷, 袁艺, 王鑫, 等. 杂豆分类、营养功效及其产品开发的研究进展 [J]. 食品工业科技, 2023, 44(4): 428–437. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022020161

ZHANG Ting, YUAN Yi, WANG Xin, et al. A Review on Classification, Nutritional Benefits of Pulses and the Products Development[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(4): 428–437. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022020161

· 专题综述 ·

杂豆分类、营养功效及其产品开发的研究进展

张 婷¹, 袁 艺¹, 王 鑫¹, 宋萧萧¹, CUI Steve W.^{1,2}, 殷军艺^{1,*}

(1. 南昌大学食品科学与技术国家重点实验室, 中国-加拿大食品科学与技术联合实验室(南昌), 江西省生物活性多糖重点实验室, 南昌大学, 江西南昌 330047;

2. 加拿大农业及农业食品部圭尔夫研究与发展中心, 安大略圭尔夫 N1G5C9)

摘 要: 杂豆是人类主要粮食作物的来源之一, 产量仅次于禾谷类作物, 是人类获取蛋白质的第二来源。由于杂豆具有高蛋白、高淀粉、低脂肪、多纤维以及丰富的维生素和矿物质等营养特点, 受到越来越多国内外消费者以及研究人员的关注和喜爱。我国杂豆资源丰富、种类繁多, 分布于全国各地, 本文就杂豆国内外分布、分类、营养特点及功能活性进行综述, 并介绍了杂豆相关产品开发和利用情况, 以期更加系统、科学地认识杂豆, 并为今后相关产品开发和应用提供参考。

关键词: 杂豆, 分类, 分布, 营养特性, 开发利用

中图分类号: S529

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2023)04-0428-10

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2022020161

本文网刊:



A Review on Classification, Nutritional Benefits of Pulses and the Products Development

ZHANG Ting¹, YUAN Yi¹, WANG Xin¹, SONG Xiaoxiao¹, CUI Steve W.^{1,2}, YIN Junyi^{1,*}

(1. State Key Laboratory of Food Science and Technology, China-Canada Joint Laboratory of Food Science and Technology (Nanchang), Key Laboratory of Bioactive Polysaccharides of Jiangxi Province, Nanchang University, Nanchang 330047, China;

2. Guelph Research and Development Centre, Agriculture and Agri-Food Canada, Guelph N1G5C9, Canada)

Abstract: As one of the three major cereal crops, the production of pulses is only lower than that of cereals. It is the second source of protein for human beings. Pulses have attracted more and more attention from customers and researchers at domestic and abroad, owing to its nutrient characteristics, such as large amount of protein, starch, and fibers, low content of lipid, and abundant vitamins and minerals. There are plentiful and multiple pulses resources in China, thus this paper summarizes the distribution, classification, nutrient characteristics, and functional activities of pulses at native and foreign. Besides, this paper briefly discusses the development and utilization of relevant products with a view to more systematic and scientific recognition and provide reference for further research directions.

Key words: pulses; classification; distribution; nutrient characteristics; development and utilization

杂豆也称为食用豆类(Food Legumes), 是以收获籽粒供食用的豆类作物的统称, 均属豆科(Leguminosae), 蝶形花亚科(Papilionaceae), 多为一年生或越

年生, 但不包括高脂肪豆科植物的豆类, 如大豆、花生等, 我国栽培的主要杂豆品种有蚕豆、豌豆、绿豆、豇豆、芸豆, 四棱豆、木豆、利马豆、鹰嘴豆等^[1]。

收稿日期: 2022-02-21

基金项目: 国家重点研发计划项目(2018YFE0108300)。

作者简介: 张婷(1996-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 食品科学, E-mail: 15927016924@163.com。

* 通信作者: 殷军艺(1986-), 男, 博士, 研究员, 研究方向: 功能性碳水化合物, E-mail: yinji@ncu.edu.cn。

而联合国粮食及农业组织(FAO)则将杂豆类定义为干收的豆科作物,也称为干豆,包括红小豆、绿豆、豌豆、芸豆、扁豆和鹰嘴豆等,但不包括高脂肪豆科植物的豆类,如大豆、花生和作为蔬菜收获的豆类(如豆角)^[2]。相较于我国的杂豆定义,联合国粮食及农业组织(FAO)对于杂豆的定义显然更为广泛,这是由于我国杂豆都属于豆科中的蝶形花亚科,而联合国粮食及农业组织(FAO)定义中则不仅仅只包括蝶形花亚科,云实亚科中的部分豆类也符合 FAO 的定义。联合国更是在 2016 年将该年定为“国际杂豆年”(International Year of Pulses),以“提供丰富营养,促进可持续发展”为口号^[2-4]。

随着近年居民膳食结构变化,各种慢性疾病的发病率逐年上升,人们逐渐认识到了杂豆营养品质的优越性:与谷物相比,杂豆含有优质的蛋白质以及丰富的矿物质、维生素、膳食纤维^[3,5-6]。由于杂豆中膳食纤维含量丰富,常被添加到各类食品中来降低食品 GI,有利于人体健康^[4]。同时,杂豆还具有医疗保健功能,常作为营养强化剂添加到食品中,不仅丰富了氨基酸种类,还获得了独特的风味,因此深受消费者喜爱^[7]。

我国地处亚热带和温带地区,杂豆资源非常丰富,但是由于地域原因,人们对于杂豆的分类以及产地分布了解不够明确,对于杂豆营养特性及功能活性的认识较为缺乏,相关研究还不够深入,深加工产品也较为匮乏。因此,为了使我国杂豆资源能够得到充分利用,进而推动我国杂豆产业的发展,本文针对杂豆分布、分类、营养特性及功能活性以及杂豆产品应用开发进行系统性阐述。

1 世界杂豆的主要生产国家、地区及国内分布

杂豆的品种繁多,适应性强、营养性独特,在世

界多个国家和地区广泛种植,是许多国家农业生产和居民食物消费的重要组成部分。表 1 可以看出,缅甸、印度、巴西、加拿大以及中国等是世界杂豆的主要生产国,其杂豆总产量约占世界总产量的 60%,其中缅甸杂豆产量占世界杂豆产量的 19.35%,是世界最大的杂豆生产国。

中国是世界第四大杂豆生产国,其中绿豆、豌豆、蚕豆产量均位居世界总产量第一,详见表 1,此外还种植小豆、豇豆和普通菜豆等 20 多种杂豆,分布在中国东北、华北、西北、西南的干旱半干旱地区等地区。由表 1 可知,中国杂豆资源丰富,品种繁多,全国各地区均有广泛种植,但大多数种植在华南和西南地区。其中,常食用的绿豆主要是分布在黄河、长江下游地区,而鹰嘴豆由于其生长条件要求主要种植于在我国新疆、青海等地区。

2 杂豆的分类

目前,国内外杂豆种类较多,其中较常见的有 38 种,隶属于 24 个属,11 个族,其中有 8 个族属于蝶形花亚科,而生活中常见的主要是菜豆属和豇豆属(图 1)。因为地域文化差异,不同地区同一豆类具有不同别称,同时杂豆名称在不同地区具有重名的现象,造成了人们对于杂豆名称的混淆,为了让人们对杂豆的分类及其别称有更加清晰的认识,图 2 对部分常见杂豆的分类和别名进行了归纳总结。其中我们常食用的杂豆都是属于蝶形花亚科中的菜豆族,例如绿豆、豇豆、赤小豆是属于菜豆族中的豇豆属,而刀豆、荷包豆、菜豆则是属于刀豆属,常被认作为豌豆属的香豌豆,则属于山黧豆属。

3 杂豆的营养成分及功能活性

由表 2 可知,绝大多数杂豆具有高蛋白质、低脂肪、高纤维等特点,而且还含有丰富的维生素以及矿物质元素,而且含有某些具有独特的功能活性物质;

表 1 世界杂豆的主要生产国及我国主要种植地区分布

Table 1 World's major producers of pulses and the distribution of the main growing regions in China

品种	主要生产国 ^[8]	国内分布
杂豆	缅甸(19.35%)、印度(17.58%)、巴西(9.62%)、中国(4.34%)	在全国各地均有种植
绿豆	中国(44.64%)、卢森堡(6.15%)、印度尼西亚(1.96%)、印度(1.50%)	主要集中在黄河、长江下游、华北等地区,其中以内蒙古、河南种植的面积较大
鹰嘴豆	印度(69.69%)、乌干达(4.42%)、俄罗斯(3.55%)、缅甸(3.50%)	主要在新疆、青海、甘肃种植鹰嘴豆较多,内蒙古也有少部分地区种植 ^[9-10]
豌豆	中国(38.10%)、印度(15.82%)、法国(0.80%)	主要种植在湖北、四川、江西、青海等地
扁豆	加拿大(36.74%)、印度(20.82%)、澳大利亚(9.05%)、尼泊尔(4.26%)	我国各地区广泛种植,南北方均有种植
豇豆	尼日利亚(40.10%)、尼日尔(26.76%)、布基纳法索(7.32%)、埃塞俄比亚(4.20%)	主要种植在河南、山西、山东、广东、湖北、四川等地
蚕豆	中国(24.27%)、埃塞俄比亚(14.04%)、大不列颠及北爱尔兰联合王国(7.64%)、澳大利亚(4.56%)	主要种植在云南、四川、重庆、湖北、甘肃、青海等
菜豆	美国(53.73%)、墨西哥(9.42%)、摩洛哥(8.58%)、菲律宾(8.03%)	在我国各省区广泛栽培 ^[11]
野豌豆	俄罗斯(21.39%)、墨西哥(12.75%)、土耳其(6.79%)	主要种植在我国的西南、西北等地
角豆	土耳其(34.88%)、阿尔及利亚(7.57%)、黎巴嫩(7.53%)	主要种植在我国广西、四川、云南和广东等地
木豆	马拉维(10.50%)、缅甸(7.85%)、坦桑尼亚联合共和国(2.04%)	主要分布在华南地区和西南地区,如云南、四川、江西、湖南、广西、广东、海南以及浙江、福建、台湾、江苏

注:数据来源于联合国粮食及农业组织的粮食和农业数据,更新于2019年。

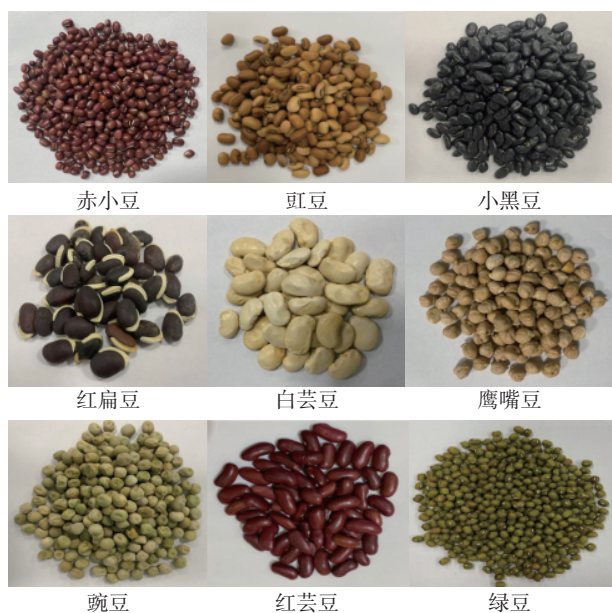


图1 部分常见杂豆形貌图

Fig.1 Part of the common mixed beans morphology chart

少部分杂豆富含其他物质,如藜豆中富含左旋多巴胺^[14-15]。杂豆种子主要由胚(子叶和胚轴)和种皮组成,杂豆的子叶和胚轴中富含蛋白质和碳水化合物,而杂豆种皮中主要是含有黄酮类、多酚类化合物等生物活性物质,这些物质是天然的抗氧化剂,可以延缓衰老、预防癌症等疾病,其中花色甘和原花青素二聚体是导致杂豆种皮颜色各异的主要原因。

从营养学角度来看,杂豆是植物蛋白质的重要来源,蛋白质含量高达20%~30%,而且杂豆蛋白是全价蛋白,富含赖氨酸,但硫氨基酸较少,例如蚕豆中含有丰富的必需氨基酸,但缺乏色氨酸和蛋氨酸,而绿豆中谷氨酸含量最高,其含量为14.78~21.33 g/100 g,但是缺乏硫氨酸与半胱氨酸^[16]。杂豆与其他谷物在

氨基酸平衡上互补,因此合理搭配杂豆饮食,能够极大地改善以水稻、小麦等谷类食品为主食的我国居民膳食结构。

杂豆属于低血糖指数食品,在食用杂豆后,血糖的波动较小,有利于血糖的控制^[17-18]。除此之外,有研究发现每日摄入一定量的杂豆可以有效预防慢性疾病,同时对于降血脂^[16]、控制肥胖^[17,19-20]、治疗结肠炎^[21]、预防心脑血管疾病^[18,22-23]、预防乳腺癌^[24-25]、抗肿瘤等疾病都具有一定的积极作用^[14-15,26]。例如Zahradka等报道,患有外周动脉疾病的人连续8周每天食用半杯煮熟的杂豆,患病人群踝臂指数显著改善,对腿部的血液流动有改善作用^[27];Clark等定期用黑豆喂养自发性高血压大鼠,能减轻大鼠高血压症状并改善大鼠血管健康^[28];佐兆杭等研究发现杂豆膳食纤维对雌性大鼠卵巢衰老有良好的抑制效果,可提高血清中雌性激素含量,修复受损卵巢组织^[29];Hou等发现绿豆种皮对高脂饲养肥胖小鼠具有预防高脂饮食诱导小鼠体重增加,并改善小鼠代谢综合征的症状^[20]。Wang等研究发现高浓度的鹰嘴豆异黄酮能够有效抑制MCF-7乳腺癌细胞增殖^[25]。

因此,合理的杂豆膳食搭配可以减少或预防慢性病的发生,而且《中国居民膳食指南(2016)》提倡把全谷物、杂豆和薯类作为膳食的重要组成部分,推荐每人每天摄入全谷物和杂豆类50~150 g。

4 杂豆资源的开发利用

4.1 杂豆产品开发现状

目前我国市面上,作为食品配方原料/添加剂的杂豆品种主要包括赤小豆、菜豆、扁豆、鹰嘴豆、豌豆、蚕豆和绿豆(表3)。杂豆休闲食品主要是薯片、豆乳饮品、豆罐头、豆类零食等,传统类食品主要以豆浆、糕点、粉丝、油炸豆、豆瓣酱等产品形式为

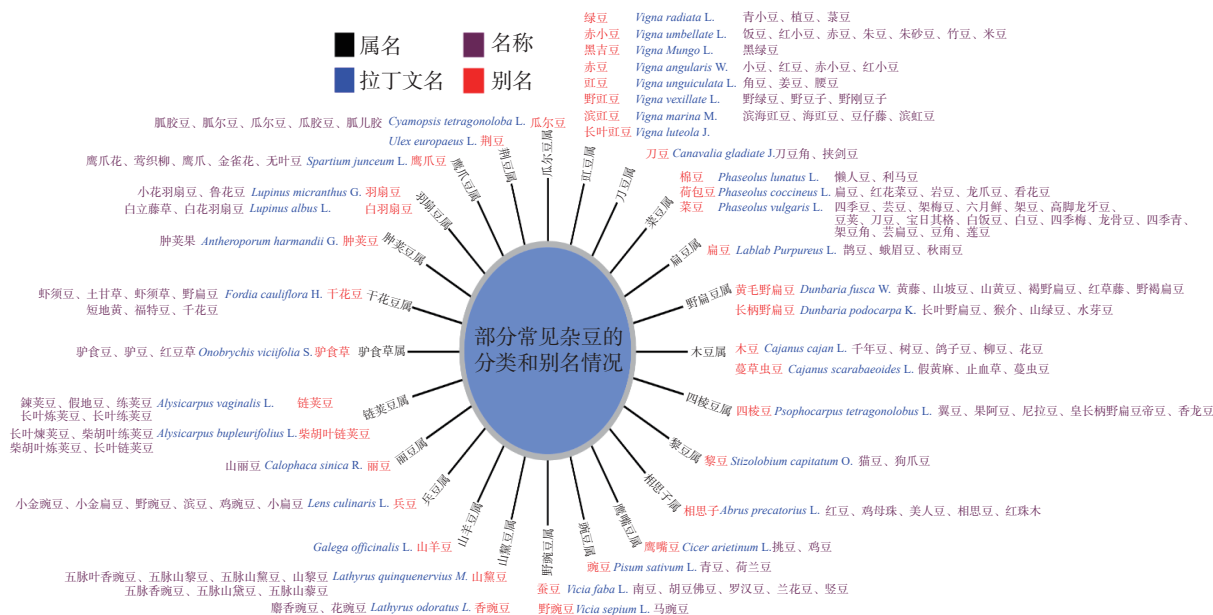
图2 部分常见杂豆的分类和别名情况^[12-13]Fig.2 Classification and alias of some common pulses^[12-13]

表 2 杂豆的营养物质及其功能活性
Table 2 Nutrients and bioactivites of pulses

名称	营养特点	功能活性
绿豆	富含蛋白质和碳水化合物、B族维生素和矿物质元素,以及许多生物活性物质,如香豆素、植物甾醇、生物碱 ^[16,30]	清热解毒、预防肥胖、改善血浆脂质的分布、抑制过敏、抗肿瘤 ^[16,20,31]
赤小豆	富含蛋白质和矿物质元素,其中赖氨酸含量极高,同时还含有天然的抗氧化活性物质,例如多酚、黄酮、皂苷等	清除各种有害自由基,除湿、健脾止泻、利尿等 ^[32]
黑吉豆	富含蛋白质、碳水化合物,同时含有多种矿物质元素和B族维生素 ^[33]	抗氧化、延缓衰老,预防各种代谢和心血管疾病 ^[33]
饭豆	富含蛋白质、氨基酸、碳水化合物以及矿物质元素,其中钙、铁元素含量丰富 ^[34]	行血补血、健脾去湿、利水消肿的功效,对慢性肾小球肾炎的治疗有一定作用 ^[35]
豇豆	富含蛋白质、碳水化合物、膳食纤维、维生素和微量元素 ^[36] ,以及黄酮醇苷及酚酸类物质 ^[37]	抗氧化、延缓衰老、促进肠道蠕动和调节血糖 ^[38] ,预防各种代谢和心血管疾病,解蛇毒、治疗胸痛、癫痫和痛经 ^[36]
野豇豆	富含蛋白质、脂肪、维生素等	清热解毒之功效 ^[39]
滨豇豆	富含淀粉	能够利尿和消炎 ^[40]
长叶豇豆	富含蛋白质,碳水化合物,维生素和微量元素,以及半萜类的化合物、生物碱 ^[41]	抑制超氧化物产生和弹性酶释放的活性 ^[41]
刀豆	富含蛋白质、膳食纤维、碳水化合物、维生素、矿物质元素以及酚类物质,例如单宁、植酸、刀豆碱和皂苷等 ^[42]	抗血管、保护肝脏、抗炎活性,预防和 治疗氧化应激引起的多种疾病 ^[42-43]
棉豆	籽粒富含蛋白质、各类氨基酸以及矿物质元素,例如磷、钾、钙、锌、铁、镁、锰、铜等 ^[44-45]	补血、消肿等,可用作粮食,也可用作绿肥
荷包豆	种子、嫩荚富含蛋白质、碳水化合物、维生素和矿物质元素等营养物质,种皮中花青素含量较高,子叶中含有黄酮类化合物 ^[46]	健脾壮肾,增强食欲,利尿化湿,可作脾弱肾虚者的保健食品,可以用于治疗肥胖症和糖尿病 ^[7]
菜豆	富含蛋白质、碳水化合物、膳食纤维、维生素和矿物质元素、同时还含有一定的多酚类物质、黄酮类、胡萝卜素等 ^[46] ,属于高钾、高钙、低钠的食物,脂肪中主要以亚麻酸和亚油酸为主 ^[47]	降血压,适合心脏病、低血钾症等特殊病人食用 ^[48] ,预防心脑血管、温中下气、利肠胃、治疗腰痛、神经痛等病症 ^[49-51]
扁豆	富含蛋白质、碳水化合物、维生素和矿物质元素,其中赖氨酸和铁元素含量很高 ^[52-53]	消暑除湿,健脾止泻,可治疗心脑血管等疾病 ^[18]
黄毛野扁豆	不详	清热解毒、消肿止痛,可用于咽喉肿痛、乳痈、白带等疾病
长柄野扁豆	不详	治疗咽喉肿痛、乳痈、牙痛、肿毒、毒蛇咬伤等症状
木豆	脂肪含量低,富含蛋白质、淀粉,以及各类活性物质,如黄酮和芪类以及香豆素、甾体、三萜类等 ^[54-55]	促进股骨头缺血性坏死的修复以及治疗缺血性心脏病,如冠心病、心绞痛 ^[54]
蔓草豆	富含多酚类物质,粗蛋白质和粗脂肪含量均较低 ^[56]	主治伤风感冒、风湿水肿、夜热、肾结石、眼病、水肿、贫血、外伤出血、疮疡、疥癣等病症 ^[56-58]
四棱豆	富含蛋白质、不饱和脂肪酸、维生素A和矿物质,以及黄酮类物质 ^[59-61]	对冠心病、动脉硬化、脑血管硬化肝病、高血压和口腔溃疡等疾病有良好疗效 ^[59,60,62-64]
黎豆	富含左旋多巴等生物活性物质	抗帕金森病、镇静安眠、抗蛇毒、治疗男性不育症有良好疗效 ^[65]
相思子	富含有多种三萜皂苷类、生物碱和黄酮等成分,同时含相思豆毒蛋白,为有毒植物不可食用 ^[66]	可作药用,抗肿瘤 ^[67]
鹰嘴豆	富含蛋白质,其中赖氨酸和精氨酸含量较高,同时富含碳水化合物、膳食纤维、维生素和矿物质元素等营养 ^[68]	益气、温肾壮阳,消渴,解毒和润肺止咳等 ^[9,69]
豌豆	富含蛋白质、淀粉、膳食纤维,其中富含抗性淀粉,含有丰富的维生素,同时又是优质钾、铁、磷等矿物质营养 ^[70-72]	控制体重,预防糖尿病 ^[70-72]
蚕豆	富含蛋白质、淀粉和微量元素,异黄酮	抗炎,预防心血管疾病、糖尿病等慢性疾病 ^[73]
野豌豆	富含蛋白质、脂肪,多种维生素等,还含有黄酮苷及苷元类化合物	抗氧化
兵豆	富含蛋白质和碳水化合物、酚类化合物、以及维生素B和叶酸 ^[52-53]	降低慢性疾病的发病率以及胎儿的畸形率
山黧豆	含有毒物质β-草酰氨基丙氨酸	不可食用,但可以作为鹅的粗饲料
香豌豆	富含蛋白质(22%)、碳水化合物(62%)	抗氧化、抗癌、抗炎,观赏植物,植株及种子均有毒,不可食用
柴胡叶链荚豆	富含蛋白质和矿物质元素,其中钙和磷元素含量较高	治疗跌打骨折,外伤出血
驴食草	富含蛋白质和多酚类物质,如单宁 ^[74-75]	预防胃膨胀病 ^[74]
干花豆	富含生物碱、氨基酸、酚类、甾醇类、有机酸、以及呋喃黄酮醇和微量元素等成分 ^[76-77]	抗衰老、抗炎、保肝和抗氧化,主要用于治疗风湿病、瘀伤、儿童痴呆症、腰腿酸痛等 ^[76-77]
羽扇豆	脂肪含量较低,富含蛋白质、膳食纤维、维生素、矿物质元素,以及生育酚等物质 ^[78]	降脂减肥、降血糖、调节肠道菌群 ^[78-79]
白羽扇豆	种子富含蛋白质,富含膳食纤维、不饱和脂肪酸,维生素和矿物质和植物化学物质 ^[79]	治疗心血管疾病、糖尿病、肥胖、胆固醇和癌症等常见疾病疗效 ^[78-80] ,可作观赏和饲料
鹰爪豆	干花富含黄酮类物质以及生物碱、皂苷、酚类化合物,其中木犀草素和槲皮素染料较为丰富 ^[81]	种子可治疗胃溃疡,一般用于生产纤维、纱线、织物、绳索、篮子、纤维增强复合材料、装饰和艺术用品、油画布、油画、香水等产品,种花用作观赏 ^[82]
荆豆	植物茎中富含喹啉生物碱、氨基酸、糖苷、类黄酮、胡萝卜素、六醇和植物甾醇等物质 ^[83]	抗病毒、抗菌,主要做观赏和家畜饲料和燃料 ^[84]
山羊豆	种子富含山羊豆碱,生物碱等物质	催乳、治疗糖尿病 ^[85-86] ,花叶用作观赏

表 3 杂豆资源的开发利用
Table 3 Exploitation of pulse resources

名称	传统特色食品	主食产品	休闲食品	功能性食品
绿豆	绿豆饼、绿豆粥	绿豆面条、绿豆粉丝	绿豆沙、绿豆糕、绿豆奶 ^[16]	绿豆糯米保健型甜酒、富含益生菌绿豆粉 ^[98] 、绿豆淀粉灌肠 ^[99]
赤小豆	豆沙馅、红豆薏仁粉	红豆蜜、红豆面包	赤小豆茯苓糕、红豆果汁乳饮料、红豆咖啡复合饮料	红小豆双歧杆菌发酵保健饮料、保健型南瓜赤小豆馒头 ^[100]
豇豆	酸豇豆酱菜	豇豆馒头	豇豆饮料	豇豆复合发酵酸奶、豇豆功能性奶粉 ^[101]
豌豆	豌豆糕、豌豆黄	豌豆凉粉、豌豆粉丝	香酥豌豆、豌豆脆	豌豆膳食纤维饼干、豌豆益生元、豌豆蛋白粉
鹰嘴豆	香酥鹰嘴豆、鹰嘴豆软罐头	鹰嘴豆营养粉	鹰嘴豆条、鹰嘴豆泡芙条、鹰嘴豆饼干	鹰嘴豆功能性饮料、鹰嘴豆油脂微胶囊 ^[87] 、鹰嘴豆益生元酸奶、鹰嘴豆豆豉 ^[89]
扁豆	油炸扁豆、扁豆汤罐头	红小扁豆糙米米粉、扁豆面条	方便冲调粉,扁豆粉蛋糕	
蚕豆	豆瓣酱、	蚕豆馒头	怪味豆	蚕豆皮膳食纤维粉
黑豆	香酥黑豆、黑豆粉、醋泡黑豆、特色酱油、	黑豆速溶面 ^[102]	黑豆代餐奶昔、黑豆豆浆、黑豆豆奶	黑豆茶、黑豆丸、黑豆酒
芸豆	芸豆卷、芸豆罐头、芸豆月饼	芸豆粥、芸豆饭、花芸豆糙米米粉 ^[103]	蜜汁芸豆、白芸豆乳酸菌饮料	芸豆膳食纤维粉,芸豆代餐粉、白芸豆压片糖果、白芸豆甘蔗渣咀嚼片 ^[104]

主。但是传统杂豆产品品种单一,远远不能满足人们对于营养、美味、快捷方便和药用保健产品的消费需求。因此,一些以杂豆为基底的功能性食品正在不断发展,例如绿豆保健型甜酒、红小豆双歧杆菌发酵保健饮料、鹰嘴豆油脂微胶囊^[87]、豌豆蛋白粉等。Wu 等利用植物乳杆菌 B1-6 对绿豆进行发酵,制备出绿豆豆乳食品^[88]; Angulo-bejarano 等利用真菌发酵制作鹰嘴豆豆豉,提高了鹰嘴豆中含硫氨基酸的含量,改善了鹰嘴豆的营养价值^[89]。

近年来,随着人们的健康意识不断强化,对平衡膳食模式的需求逐渐凸显,全球对植物基食品的期待和需求日益增加^[90]。目前最受欢迎的植物基产品主要有植物肉^[91]、植物蛋、植物奶以及植物奶酪等,上述产品主要是以花生、豆类、以及小麦等作物中提取的植物蛋白为原料,经过一系列的加工处理使其成为具有动物肉制品的质地和口感^[92-93]。徐进等利用豌豆分离蛋白有良好的凝胶性,优化了植物基香肠得品质。目前豆在植物基产品得应用主要是大豆,豌豆以及绿豆,例如豌豆植物基香肠^[94]、绿豆基蛋液^[93]、豌豆植物基奶酪^[95]、植物肉鸡块^[96]、酸豆乳饮料、绿豆抗性淀粉代餐粉^[97],而其他杂豆相关产品较少。

4.2 资源利用面临的问题

4.2.1 抗营养因子 由于杂豆中还含有较多抗营养因子(Antinutritional factors, ANFs),如胰蛋白酶抑制剂、植酸、草酸、单宁、低聚糖(棉子糖和水苏糖)等往往限制了杂豆的生产和利用^[105-106]。这些抗营养因子的存在,会使得杂豆中的各类营养物质较难利用、适口性变差,特别是会影响人体对营养元素的吸收,干扰其正常的新陈代谢,严重时导致食物中毒,抗营养因子的存在制约了人类对杂豆的进一步的开发利用。

4.2.2 加工技术瓶颈 近年来科研人员对于杂豆的关注日益增加,但对杂豆的生物多样性及其加工特性的基础研究仍然较为薄弱,使得杂豆资源的加工利用

一直滞留在传统食品的开发,而且现有的杂豆资源的利用仅仅是依靠蒸煮加热的方式来生产杂豆传统食品,加工技术操作成本低、时间短、能耗低,但杂豆的营养物质流失较多,同时杂豆中含有具有降低慢性病发病率等潜在功能特性营养物质并未得到很好利用。

5 展望

我国杂豆品种多,种植面积广,产量大,是我国重要的粮食作物,我国已发布一些杂豆品质评价标准,但统一性不强,而且关于杂豆产品的各类标准都比较模糊,大多与杂粮和大豆的国家标准共用,而且现行标准缺少禁、限用重金属以及农药的限量指标,在现行标准中也没有对于在杂豆产品中对食品添加剂限制使用的安全指标,应建立健全杂豆各类产品标准,系统开展杂豆产品品质检验体系的人才培训,推动杂豆产业的可持续发展。

其次,充分利用杂豆高蛋白,低脂肪的营养特点,开发多种以杂豆为基底的植物基产品,新资源的挖掘对产品的多元化开发具有重要的意义。植物基是一种有前途的未来食品,而杂豆作为植物蛋白的主要来源,是动物蛋白的最佳替代品。而且植物基产品除了高蛋白的营养概念,还要兼顾其它营养物质(多糖、膳食纤维、矿物质)的需求,杂豆正切实吻合了这一需求。

此外,加快各类加工技术在杂豆资源方面的利用,例如微波加工、高压脉冲加工以及微射流均质加工技术等,从而开发现代、方便、多样的健康杂豆产品,以促进杂豆产品市场发展。

参考文献

- [1] 郑卓杰. 中国食用豆类学[Z]. 北京: 中国农业出版社, 1997. [ZHENG Z J. Chinese edible legumes[J]. Beijing: China Agricultural Press, 1997.]
- [2] MARINANGELIC P F, CURRAN J, BARR S I, et al. Enhancing nutrition with pulses: Defining a recommended serving size

- for adults[J]. *Nutrition Reviews*, 2017, 75(12): 990–1006.
- [3] 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. [DU Y J, LI H M, LI Y L. Research status on pulses for staple food[J]. *Food Research and Development*, 2021, 42(11): 183–188.]
- [4] 谭斌, 乔聪聪. 杂豆在可持续膳食发展中的机遇与挑战[J]. *食品与机械*, 2019, 35(10): 165–169. [TANG B, QIAO C C. Opportunities and challenges of pulses in the sustainable development of diets[J]. *Food and Machinery*, 2019, 35(10): 165–169.]
- [5] 王凤成, 王梦杰, 沈玉现. 杂豆磨粉方式与应用价值概述[J]. *河南工业大学学报(自然科学版)*, 2019, 40(1): 120–125. [WANG F C, WANG M J, SHENG Y X. Status of pulses milling methods and application value[J]. *Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition)*, 2019, 40(1): 120–125.]
- [6] GEBRELIBANOS M, TESFAYE D, RAGHAVENDRA Y, et al. Nutritional and health implications of legumes[J]. *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 2013, 4(4): 1269–1279.
- [7] 徐向东. 豆类(小红豆、大红豆和荷包豆)淀粉和蛋白质性质的研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2010. [XU X D. Studies on the properties of starches and proteins in beans (small red bean, large red bean and scarlet runner bean)[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2010.]
- [8] 联合国粮农组织的粮食和农业数据. <https://www.fao.org/fao-stat/zh/#data>. [Food and agriculture data from the Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/fao-stat/zh/#data>.]
- [9] 赵堂彦, 孟茜, 瞿恒贤, 等. 鹰嘴豆营养功能特性及其应用[J]. *粮油食品科技*, 2014, 22(4): 38–41. [ZHAO Y T, MENG Q, QU H X, et al. Nutritional functional and application of chickpea[J]. *Oils and Foods*, 2014, 22(4): 38–41.]
- [10] 张瑞, 韩加. 鹰嘴豆的化学成分与保健功效[J]. *中国野生植物资源*, 2019, 38(3): 49–53. [ZHANG R, HAN J. Chemical composition and health efficacy of chickpea[J]. *Chinese Wild Plant Resources*, 2019, 38(3): 49–53.]
- [11] 张福平, 陈蔚辉, 许秀彦, 等. 菜豆的营养成分分析[J]. *中国食物与营养*, 2006(2): 55. [ZHANG F P, CHENG W H, XU X Y, et al. The nutrition of kidney bean component analysis[J]. *Food and Nutrition in China*, 2006(2): 55.]
- [12] 中国生物志库中的中国植物志. <https://species.sciencereading.cn/biology/v/biologicalIndex/122.html>. [Flora of China in the Biographic Library of China. <https://species.sciencereading.cn/biology/v/biologicalIndex/122.html>.]
- [13] 梁喜龙, 梁鹏飞, 梅宏瑶, 等. 杂豆的分类、起源、种质保存、国内分布及特殊功能[J]. *北方农业学报*, 2017, 45(3): 36–39. [LIANG X L, LIANG P F, MEI H Y, et al. Classification, origin, germplasm preservation, domestic distribution and special function from various Legumes[J]. *Journal of Northern Agriculture*, 2017, 45(3): 36–39.]
- [14] 李芳, 谭云. 中加杂豆开发利用对我国杂豆产业发展的启示[J]. *粮油食品科技*, 2018, 26(2): 17–20. [LI F, TANG Y. Enlightenment from Canada project to the development of pulse industry in China[J]. *Oils and Foods*, 2018, 26(2): 17–20.]
- [15] MULLINS A P, ARJMANDI B H. Health benefits of plant-based nutrition: Focus on beans in cardiometabolic diseases[J]. *Nutrients*, 2021, 13(2): 519.
- [16] MEKKARA NIKARTHIL SUDHAKARAN S, BUKKAN D S. A review on nutritional composition, antinutritional components and health benefits of green gram (*Vigna radiata* (L.) Wilczek)[J]. *Journal of Food Biochemistry*, 2021, 45(6): e13743.
- [17] MORIYASU Y, FUKUMOTO C, WADA M, et al. Validation of antiobesity effects of black soybean seed coat powder suitable as a food material: Comparisons with conventional yellow soybean seed coat powder[J]. *Foods*, 2021, 10(4): 841.
- [18] FARIS M E A E, TAKRURI H R, ISSA A Y. Role of lentils (*Lens culinaris* L.) in human health and nutrition: A review[J]. *Mediterranean Journal of Nutrition and Metabolism*, 2013, 6(1): 3–16.
- [19] MONL J M, WU W, LEPP D, et al. Navy bean supplementation in established high-fat diet-induced obesity attenuates the severity of the obese inflammatory phenotype[J]. *Nutrients*, 2021, 13(3): 757.
- [20] HOU D, ZHAO Q, YOUSAF L, et al. Beneficial effects of mung bean seed coat on the prevention of high-fat diet-induced obesity and the modulation of gut microbiota in mice[J]. *European Journal of Nutrition*, 2021, 60(4): 2029–2045.
- [21] KIM M, CHUNG K S, HWANG S J, et al. Protective effect of *Cicer arietinum* L. (chickpea) ethanol extract in the dextran sulfate sodium-induced mouse model of ulcerative colitis[J]. *Nutrients*, 2020, 12(2): 456–466.
- [22] MARVENTANO S, IZQUIERDO PULIDO M, SANCHEZ - GONZALEZ C, et al. Legume consumption and CVD risk: A systematic review and meta-analysis[J]. *Public Health Nutrition*, 2017, 20(2): 245–254.
- [23] NOURI F, HAGHIGHATDOOST F, MOHAMMADIFARD N, et al. The longitudinal association between soybean and non-soybean legumes intakes and risk of cardiovascular disease: Isfahan cohort study[J]. *British Food Journal*, 2021, 123(8): 2864–2879.
- [24] QUINTERO SOTO M F, CHAVEZ ONTIVEROS J, GARZON TIZNADO J A, et al. Characterization of peptides with antioxidant activity and antidiabetic potential obtained from chickpea (*Cicer arietinum* L.) protein hydrolyzates[J]. *Journal of Food Science*, 2021, 86(7): 2962–2977.
- [25] WANG J, YU H, YILI A, et al. Identification of hub genes and potential molecular mechanisms of chickpea isoflavones on MCF-7 breast cancer cells by integrated bioinformatics analysis[J]. *Annals of Translational Medicine*, 2020, 8(4): 86.
- [26] MORENO-VALDESPINO C A, LUNA-VITAL D, CAMACHO-RUIZ R M, et al. Bioactive proteins and phytochemicals from legumes: Mechanisms of action preventing obesity and type-2 diabetes[J]. *Food Res Int*, 2020, 130: 108905.
- [27] ZAHRADKA P, WRIGHT B, WEIGHELL W, et al. Daily non-soy legume consumption reverses vascular impairment due to peripheral artery disease[J]. *Atherosclerosis*, 2013, 230(2): 310–

314.

- [28] CLARK J L, LOADER T B, ANDERSON H D, et al. Regular black bean consumption is necessary to sustain improvements in small-artery vascular compliance in the spontaneously hypertensive rat[J]. *Nutrients*, 2020, 12(3): 685.
- [29] 佐兆杭, 王颖, 迟晓星, 等. 杂豆膳食纤维对大鼠卵巢衰老的影响[J]. *中国食品学报*, 2018, 18(1): 27-33. [ZUO Z H, WANG Y, CHI X X, et al. Effect of miscellaneous bean dietary fiber on ovarium senility of rats[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2018, 18(1): 27-33.]
- [30] HOU D, YOUSAF L, XUE Y, et al. Mung bean (*Vigna radiata* L.): Bioactive polyphenols, polysaccharides, peptides, and health benefits[J]. *Nutrients*, 2019, 11(6): 1238.
- [31] HOU D, ZHAO Q, YOUSAF L, et al. Consumption of mung bean (*Vigna radiata* L.) attenuates obesity, ameliorates lipid metabolic disorders and modifies the gut microbiota composition in mice fed a high-fat diet[J]. *Journal of Functional Foods*, 2020, 64: 103687.
- [32] 梁丽雅, 闫师杰. 红小豆的加工利用现状[J]. *粮油加工与食品机械*, 2004(3): 68-69. [LIANG LI Y, YAN SHI J. Current status of processing and utilization of red beans[J]. *Grain and Oil Processing and Food Machinery*, 2004(3): 68-69.]
- [33] LI P, LI Y, WANG L, et al. Study on water absorption kinetics of black beans during soaking[J]. *Journal of Food Engineering*, 2020, 283: 110030.
- [34] THAKUR Y, THORY R, SANDHU K S, et al. Effect of selected physical and chemical modifications on physicochemical, pasting, and morphological properties of underutilized starch from rice bean (*Vigna umbellata*) [J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2021, 58(12): 4785-4794.
- [35] 张金涛, 么杨, 王素华, 等. 饭豆种质资源的主要品质性状评价[J]. *中国粮油学报*, 2021, 36(8): 23-28. [ZHANG J T, ME Y, WANG S H, et al. Evaluation of main quality characters of rice bean germplasm resources[J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2021, 36(8): 23-28.]
- [36] ALFA A A, TIJANI K B, OMOTOSO O D, et al. Nutritional values and medicinal health aspects of brown, brown-black and white cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) grown in Okene, Kogi State, Nigeria[J]. *Asian Journal of Advanced Research and Reports*, 2020. doi:10.9734/ajarr/2020/v14i430348
- [37] AVANZA M V, ÁLVARZ-RIVERA G, CIFUENTES A, et al. Phytochemical and functional characterization of phenolic compounds from cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) obtained by green extraction technologies[J]. *Agronomy*, 2021, 11(1): 162.
- [38] 杨强, 王柱, 盖智涵, 等. 超声辅助提取豇豆多糖的优化及体外抗氧化研究[J]. *沈阳农业大学学报*, 2021, 52(2): 224-231. [YANG Q, WANG Z, GAI Z H, et al. Optimization of ultrasonic assisted extraction of cowpea polysaccharide and study on its anti-oxidation *in vitro* [J]. *Journal of Shenyang Agricultural University*, 2021, 52(2): 224-231.]
- [39] TRIPATHI K, GORE P G, PANDEY A, et al. Morphological and nutritional assessment of *Vigna vexillata* (L.) A. Rich.: A potential tuberous legume of India[J]. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 2021, 68(1): 397-408.
- [40] YAMAMOYO T, TSUDA Y, TAKAYAMA K, et al. The presence of a cryptic barrier in the West Pacific Ocean suggests the effect of glacial climate changes on a widespread sea-dispersed plant, *Vigna marina* (Fabaceae)[J]. *Ecology and Evolution*, 2019, 9(15): 8429-8440.
- [41] LAM S, LI Y, KUO P, et al. Chemical constituents of vigna luteola and their anti-inflammatory bioactivity[J]. *Molecules*, 2019, 24(7): 1371.
- [42] KIM B, PARK J, YOON H, et al. Effect of ethanol extract of canavalia gladiata on endurance swimming capacity in mice[J]. *Journal of Medicinal Food*, 2016, 19(10): 990-993.
- [43] ZHOU Y, XU X, GAN R, et al. Optimization of ultrasound-assisted extraction of antioxidant polyphenols from the seed coats of red sword bean (*Canavalia gladiata* (Jacq.) DC.) [J]. *Antioxidants*, 2019, 8(7): 200.
- [44] GEMEDE H F, BIRHANU E. Nutritional, antinutritional and phenolic properties of lima bean (*Phaseolus lunatus*) accessions: Underutilized legume in ethiopia[J]. *Acta Universitatis Cibiniensis. Series E: Food Technology*, 2020, 24(2): 195-204.
- [45] EI-GOHERY S S. Effect of different treatments on nutritional value of lima bean and its utilization in biscuit manufacture[J]. *Food and Nutrition Sciences*, 2021, 12(4): 372-391.
- [46] CAPISTRAN-CARABARIN A, AQUINO-BOLANOS E N, GARCIA-DIAZ Y D, et al. Complementarity in phenolic compounds and the antioxidant activities of *Phaseolus coccineus* L. and *P. vulgaris* L. landraces[J]. *Foods*, 2019, 8(8): 295.
- [47] ERTAS N. Improving the cake quality by using red kidney bean applied different traditional processing methods[J]. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2021, 45(6): e15527.
- [48] 刘妍兵, 陶阳, 苗雪, 等. 芸豆加工过程中蛋白多酚复合物功能性质的变化[J]. *中国粮油学报*, 2021. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2864.TS.20210604.1519.018.html>. [LIU Y B, TAO Y, MIAO X, et al. Changes of functional properties of protein-polyphenol complex during processing of kidney bean[J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2021. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2864.TS.20210604.1519.018.html>.]
- [49] 訾艳, 王常青, 陈晓萌, 等. 白芸豆清蛋白提取工艺及分子组成研究[J]. *食品工业科技*, 2014, 35(15): 121-123. [ZI Y, WANG C Q, CHENG X M, et al. Study on the extraction technology and molecular composition of white kidney bean albumin[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2014, 35(15): 121-123.]
- [50] 訾艳. 白芸豆中活性蛋白及多肽的制备与研究[D]. 太原: 山西大学, 2015. [ZI Y. Study on preparation and research of active proteins and polypeptides of white kidney bean[D]. Taiyuan: Shanxi University, 2015.]
- [51] 户月秀. 芸豆籽粒形成过程中营养物质积累及蛋白特性研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2016. [HU Y X. Seed development and protein properties of kidney bean[D]. Yangling: Northwest A&F University, 2016.]
- [52] LASTRAS C, REVILLA I, GONZALEZ-MARTIN M I, et al. Prediction of fatty acid and mineral composition of lentils using

- near infrared spectroscopy[J]. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2021, 102: 104023.
- [53] GHARIBZAHEDI S M T. Proximate composition, mineral content, and fatty acids profile of two varieties of lentil seeds cultivated in Iran[J]. *Chemistry of Natural Compounds*, 2012, 47(6): 976–978.
- [54] SUN L, LI J, LI J, et al. Effects and mechanism of pigeonpea (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.) leaves on proliferation, migration, and tube formation of hypoxic human umbilical vein endothelial cells *in vitro*[J]. *Journal of Ethnopharmacology*, 2021, 279: 114394.
- [55] FERNANDEZ SOSA E I, CHAVES M G, QUIROGA A V, et al. Comparative study of structural and physicochemical properties of pigeon pea (*Cajanus cajan* L.) protein isolates and its major protein fractions[J]. *Plant Foods for Human Nutrition*, 2021, 76(1): 37–45.
- [56] RAY A S, JOARDAR N, MUKHERJEE S, et al. Polyphenol enriched ethanolic extract of *Cajanus scarabaeoides* (L.) Thouars exerts potential antifilarial activity by inducing oxidative stress and programmed cell death[J]. *PLoS One*, 2018, 13(12): e208201.
- [57] 王柱华, 刘俊男, 杨子祥, 等. 云南蔓草虫豆丛枝植原体 16S rDNA 和 secY 基因序列分析[J]. 云南农业大学学报(自然科学), 2018, 33(5): 826–835. [WANG Z H, LIU J N, YANG Z X, et al. Analysis of the sequences of 16S rDNA and secY of *Cajanus scarabaeoides* Witches'-broom phytoplasma in Yuanmou[J]. Yunnan Province Journal of Yunnan Agricultural University (Natural Science), 2018, 33(5): 826–835.]
- [58] LAN Y, CHIANG Y, LIN I, et al. Flavonoids with chemotaxonomic significance from *Cajanus scarabaeoides*[J]. *Biochemical Systematics and Ecology*, 2020, 93: 104136.
- [59] 蒋立文, 郑兵福, 李白玉, 等. 四棱豆油脂、脂肪酸、蛋白质、氨基酸的分析[J]. 食品科学, 2010, 31(10): 231–234. [JIANG L W, ZHENG B F, LI B Y, et al. Analysis of total lipid content, fatty acid composition, total protein content and amino acid composition of winged bean (*Psophocarpus tetragonolobus* [L.] D. c.) seeds[J]. *Food Science*, 2010, 31(10): 231–234.]
- [60] 黄小波, 付明, 陈东明. 四棱豆总黄酮抗氧化和抗肝损伤作用研究[J]. 食品科学, 2015, 36(15): 206–211. [HUANG X B, FU M, CHENG D M. Antioxidant activity and hepatoprotective activity of total flavonoids from *Psophocarpus tetragonolobus* (L.) DC. seeds[J]. *Food Science*, 2015, 36(15): 206–211.]
- [61] MOHANTY C S, SYED N, KUMAR D, et al. Chemical characterization of winged bean (*Psophocarpus tetragonolobus* (L.) DC. seeds and safety evaluation of its fatty oil[J]. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 2021, 15(1): 807–816.
- [62] 李白玉. 四棱豆种子蛋白的分离提取及其功能特性研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2010. [LI B Y. Studies on the extraction of protein from winged bean seed and its functional properties[D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2010.]
- [63] BASSAL H, HIJAZI A, FARHAN H, et al. Study of the antioxidant and anti-inflammatory properties of the biological extracts of *Psophocarpus tetragonolobus* using two extraction methods[J]. *Molecules*, 2021, 26(15): 4435.
- [64] SRIWICHA S, MONKHAM T, SANITCHON J, et al. Dual-purpose of the winged bean (*Psophocarpus tetragonolobus* (L.) DC.), the neglected tropical legume, based on pod and tuber yields[J]. *Plants*, 2021, 10(8): 1746.
- [65] 宋家乐, 李佳星, 黄泖禹, 等. 猫豆乙醇提取物对糖尿病小鼠血糖和抗氧化能力的影响[J]. 食品科技, 2017, 42(5): 213–218. [SONG J L, LI J X, HUANG M Y, et al. Effects of *Mucuna pruriens* (Linn) ethanol extract on blood glucose and serum antioxidant capacity in diabetic mice[J]. *Food Science and Technology*, 2017, 42(5): 213–218.]
- [66] 杨志鹏. 相思子提取物对小菜蛾和甘蓝蚜的生物活性及几种酶的影响[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2019. [YANG Z P. Effects of *Abrus precatorius* seed extract on biological activities and enzymes of *Brevicoryne brassicae* and *Plutella xylostella*[D]. Hefei: Anhui Agricultural University, 2019.]
- [67] OKORO E E, OSONIYI O R, JABEEN A, et al. Anti-proliferative and immunomodulatory activities of fractions from methanol root extract of *Abrus precatorius* L.[J]. *Clinical Phytoscience*, 2019, 5(1): 45.
- [68] HUSSEIN H, AWAD S, EI-SAYED I, et al. Impact of chickpea as prebiotic, antioxidant and thickener agent of stirred bio-yoghurt[J]. *Annals of Agricultural Sciences*, 2020, 65(1): 49–58.
- [69] 张旭娜. 鹰嘴豆多糖结构及活性研究[D]. 济南: 齐鲁工业大学, 2018. [ZHANG X N. The research on the structural characterization and activities of chickpea polysaccharide [D]. Jinan: Qilu University of Technology, 2018.]
- [70] 秦高一鑫, 裴斐, 袁彪, 等. 豌豆蛋白和多糖同步提取工艺优化及其抗氧化活性研究[J]. 中国粮油学报, 2019, 34(10): 16–22. [QIN G Y X, PEI F, YUAN B, et al. Process optimization of simultaneous extraction of pea protein and polysaccharide and evaluation of antioxidant activity[J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2019, 34(10): 16–22.]
- [71] 潘芬, 杨敏, 刘梦阳, 等. 豌豆蛋白酶解产物促进益生菌生长活性研究[J]. 中国食品学报, 2019, 19(2): 27–36. [PAN F, YANG M, LIU M Y, et al. Growth-stimulating effects of pea protein hydrolysates on probiotics[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2019, 19(2): 27–36.]
- [72] 孙冬阳, 呼鑫荣, 薛文通. 豌豆功效成分及其生理活性的研究进展[J]. 食品工业科技, 2019, 40(2): 316–320. [SU D Y, HU X R, XUE W T. Research progress of efficacy components and physiological activity of pea[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2019, 40(2): 316–320.]
- [73] ESKANDRANI A A. Effect of supplementing fava bean (*Vicia faba* L.) on ulcerative colitis and colonic mucosal DNA content in rats fed a high-sucrose diet[J]. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 2021, 28(6): 3497–3504.
- [74] HAYOT CARBONERO C, MUELLER-HARVEY I, BROWN T A, et al. Sainfoin (*Onobrychis viciifolia*): A beneficial forage legume[J]. *Plant Genetic Resources*, 2011, 9(1): 70–85.
- [75] AHMED I A M, MATTHAUS B, ÖZCAN M M, et al. Determination of bioactive lipid and antioxidant activity of *Onobrychis*, *Pimpinella*, *Trifolium*, and *Phleum* spp. seed and oils[J]. *Journal of*

Oleo Science, 2020, 69(11): 1367–1371.

[76] FAN L, YI T, XU F, et al. Characterization of flavonoids in the ethnomedicine *fordiae cauliflorae radix* and its adulterant *milletti-ae pulchrae radix* by HPLC-DAD-ESI-IT-TOF-MS[J]. *Molecules*, 2013, 18(12): 15134–15152.

[77] GUO J, CHEN Q, LAM C W, et al. Effects of karanjin on cell cycle arrest and apoptosis in human A549, HepG2 and HL-60 cancer cells[J]. *Biological Research*, 2015, 48(1): 40.

[78] 何胜华, 王永辉, 邓乾春. 胶束化和碱溶酸沉提取羽扇豆蛋白的物化特性[J]. *食品科学*, 2022, 43(8): 36–43. [HE S H, WANG Y H, DENG Q C. Physicochemical properties of lupin proteins extracted by micellar and alkali soluble acid precipitation[J]. *Food Science*, 2022, 43(8): 36–43.]

[79] YAVER E, BILGICLI N. IIUltrasound-treated lupin (*Lupinus albus* L.) flour: Protein- and fiber-rich ingredient to improve physical and textural quality of bread with a reduced glycemic index[J]. *LWT*, 2021, 148: 111767.

[80] ÖZCAN M M, İPEK D, GHAFOOR K, et al. Physico-chemical and sensory properties of chips produced using different lupin (*Lupinus albus* L.) flour formulations and cooking methods[J]. *International Journal of Food Science & Technology*, 2021, 56(6): 2780–2788.

[81] MARGHERITA, PAOLO, VIGLIONE, et al. Endogenous isoflavone methylation correlates with the *in vitro* rooting phases of *Spartium junceum* L. (Leguminosae)[J]. *Journal of Plant Physiology*, 2014, 171(14): 1267–1275.

[82] KOVACEVIC Z, SUTLOVIC A, MATIN A, et al. Natural dyeing of cellulose and protein fibers with the flower extract of *Spartium junceum* L. plant[J]. *Materials*, 2021, 14(15): 4091.

[83] BONILLA A F, BONILLA D A. Synthesis and characterization of a novel lignin-based biopolymer from *Ulex europaeus*: A preliminary study[J]. *J*, 2021, 4(2): 101–115.

[84] OSORIO-CASTIBLANCO D F, PEYRE G, SALDARRIAGA J F. Physicochemical analysis and essential oils extraction of the gorse (*Ulex europaeus*) and French broom (*Genista monspessulana*), two highly invasive species in the colombian andes[J]. *Sustainability*, 2020, 12(1): 57.

[85] DU W, JIANG W, YI D, et al. The complete chloroplast genome of *Galega officinalis* L[J]. *Mitochondrial DNA. Part B. Resources*, 2021, 6(2): 663–665.

[86] LUKA C D, ADOGA G I, ISTIFANUS G. Phytochemical studies of different fractions of *Galega officinalis* extract and their effects on some biochemical parameters in alloxan-induced diabetic rats[J]. *European Journal of Medicinal Plants*, 2017, 19(1): 1–10.

[87] 韩丽丽, 侯占群, 文剑, 等. 富含 α -亚麻酸的功能性油脂及其微胶囊化研究进展[J]. *食品研究与开发*, 2015, 36(21): 185–189.

[HAN L L, HOU Z Q, WEN J, et al. Recent progress on functional oils rich in alpha-linoleic acid and its microencapsulation[J]. *Food Research and Development*, 2015, 36(21): 185–189.]

[88] WU H, RUI X, LI W, et al. Mung bean (*Vigna radiata*) as probiotic food through fermentation with *Lactobacillus plantarum* B1-6[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2015, 63(1): 445–

451.

[89] ANGULO-BEJARANO P I, VERDUGO-MONTOYA N M, CUEVAS-RODRIGUEZ E O, et al. Tempeh flour from chickpea (*Cicer arietinum* L.) nutritional and physicochemical properties[J]. *Food Chemistry*, 2008, 106(1): 106–112.

[90] B H F. Plant-based foods and prevention of cardiovascular disease: An overview[J]. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 2003, 78(3 Suppl): 544S–551S.

[91] SCHREUDERS F K G, DEKKERS B L, BODNAR I, et al. Comparing structuring potential of pea and soy protein with gluten for meat analogue preparation[J]. *Journal of Food Engineering*, 2019, 261: 32–39.

[92] CLODUALDO C M, TANYA J, R B M. Textured wheat and pea proteins for meat alternative applications[J]. *Cereal Chemistry*, 2021, 1(99): 37–66.

[93] 周素梅, 李若凝, 唐健, 等. 绿豆营养功能特性及其在植物基食品开发中的应用[J]. *粮油食品科技*, 2022, 30(2): 16–23. [ZHOU S M, LI R N, TANG J, et al. Nutritional components and health functions of mung bean and its application in the development plant-based food[J]. *Science and Technology of Cereals, Oils and Foods*, 2022, 30(2): 16–23.]

[94] 徐进, 周辉, 周凯, 等. 响应面法优化植物基香肠配方[J]. *食品工业科技*, 2021, 42(21): 205–212. [XU J, ZHOU H, ZHOU K, et al. Optimization of processing technology of plant-based sausage by response surface methodology[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2021, 42(21): 205–212.]

[95] GROSSMANN L, MCCLEMENTS D J. The science of plant-based foods: Approaches to create nutritious and sustainable plant-based cheese analogs[J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2021, 118: 207–229.

[96] 赵婧, 宋弋, 刘攀航, 等. 植物基替代蛋白的利用进展[J]. *食品工业科技*, 2021, 42(18): 1–8. [ZHAO J, SONG Y, LIU P H, et al. Advances in the utilization of plant-based alternative protein[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2021, 42(18): 1–8.]

[97] 张晓彤, 吴澎. 代餐食品的研究进展[J]. *食品工业科技*, 2020, 41(12): 342–347. [ZHANG X T, WU P. Research progress of meal replacement foods[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2020, 41(12): 342–347.]

[98] 陶立, 黄琬茹, 于雷, 等. 富含益生菌杂豆粉工艺条件优化及货架期预测[J]. *食品工业科技*, 2021, 42(19): 238–246. [TAO L, HANG W R, YU L, et al. Optimization of processing conditions and prediction of shelf life of probiotic-rich miscellaneous bean powder[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2021, 42(19): 238–246.]

[99] 毛迪锐, 岳云蛟. 绿豆淀粉模拟脂肪在低脂灌肠中的应用[J]. *食品与机械*, 2011, 27(4): 149–151. [MAO D R, YUE Y J. Application on mimeticfat with mung bean starch as matrixin low-fat clyster[J]. *Food and Machinery*, 2011, 27(4): 149–151.]

[100] 马先红, 刘景圣, 李侠东, 等. 中国杂粮主食化之馒头的研究[J]. *食品研究与开发*, 2015, 36(23): 180–183. [MA X H, LIU J S, LI X D, et al. Study on the steamed bread of grains in China[J].

[Food Research and Development](#), 2015, 36(23): 180–183.]

[101] P JIRAPA, H NORMAH, ZAMALIAH M M, et al. Nutritional quality of germinated cowpea flour (*Vigna unguiculata*) and its application in home prepared powdered weaning foods[J]. *Plant Foods for Human Nutrition*, 2001(56): 203–216.

[102] BENTO J A C, BASSINELLO P Z, MORAIS D K, et al. Pre-gelatinized flours of black and carioca bean by-products: Development of gluten-free instant pasta and baked snacks[J]. [International Journal of Gastronomy and Food Science](#), 2021, 25: 100383.

[103] 刘璐, 周素梅, 王爱霞, 等. 杂豆对糙米米粉食用及营养品质的影响[J]. *中国食品学报*, 2021, 21(9): 169–176. [LIU L, ZHOU S M, WANG A X, et al. Effects of beans on eating and nutritional quality of brown rice noodles[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2021, 21(9): 169–176.]

[104] 刘淑敏, 张淑君, 梁绮晴, 等. 白芸豆甘蔗渣咀嚼片直接压片法的制备工艺研究[J]. [食品研究与开发](#), 2021, 42(17): 93–100.

[LIU S M, ZHANG S J, LIANG Q Q, et al. Preparation of white kidney bean-sugarcane bagasse chewable tablets by direct compression[J]. [Food Research and Development](#), 2021, 42(17): 93–100.]

[105] VASHISHTH R, SEMWAL A D, NAIKA M, et al. Influence of cooking methods on antinutritional factors, oligosaccharides and protein quality of underutilized legume *Macrotyloma uniflorum* [J]. [Food Research International](#), 2021, 143: 110299.

[106] PRIETO-SANTIAGO V, CAVIA M D M, BARBA F J, et al. Multiple reaction monitoring for identification and quantification of oligosaccharides in legumes using a triple quadrupole mass spectrometer[J]. [Food Chemistry](#), 2022, 368: 130761.