

豌豆成分对血糖的影响

王志倩, 李言, 钱海峰, 王立*
(江南大学食品学院 江苏无锡 214122)

摘要 豌豆作为一种营养丰富的豆类作物,含有许多对身体有益的成分。现有研究表明豌豆中的部分成分(淀粉、蛋白、肽、膳食纤维)具有调节血糖的作用。本文综述豌豆的营养成分,重点分析其各营养成分对饮食后血糖的影响,对现有研究中的不足进行分析并提出建议研究方向,以期对豌豆的深度开发提供理论依据。

关键词 豌豆;营养成分;调节血糖;机制

文章编号 1009-7848(2023)09-0430-09 **DOI:** 10.16429/j.1009-7848.2023.09.045

根据世界卫生组织进行的最新调查,2019 年糖尿病患者人数估计为 4.63 亿^[1],预计到 2030 年,糖尿病将会成为人类第七大死亡原因^[2]。伴随糖尿病患者的并发症,包括肾病、血管病、神经病和视网膜病变等,有时会导致患者肾衰竭、失明或胃溃疡,严重影响患者的身体健康^[3-4]。预防糖尿病及其并发症的一个重要方法是饮食调整。尽管目前已有治疗糖尿病相关的药物,还是只能控制而无法根治^[5]。目前通过摄入的饮食来控制餐后血糖水平的升高备受青睐^[6]。《加拿大糖尿病指南》建议日常饮食中加入对血糖控制有益的健康食品^[7],如豌豆、鹰嘴豆、扁豆和芸豆等豆类,蛋白质和纤维含量非常高,血糖指数较低,可以降低餐后血糖水平。鹰嘴豆籽粒中的矿物质和维生素对糖尿病及其并发症有辅助疗效,是具有降血糖活性的天然食品资源^[8]。以扁豆代替主食,可使餐后血糖水平降低 35%^[9]。芸豆中的 α 淀粉酶抑制剂,可与淀粉酶形成复合物,从而部分抑制淀粉酶活性,阻碍碳水化合物水解与消化速率,进而降低血糖水平^[10]。

豌豆是世界上第二大广泛种植的豆类作物^[11],其地理分布广泛,加拿大、俄罗斯、中国、美国 and 印度是主要生产国^[12],长期以来被认为是蛋白质、复合碳水化合物、维生素和矿物质的良好来源^[13]。豌豆中所包含的健康成分具有多种潜在的有益健康作用^[14],包括抗真菌、抗癌,促进体重减

轻,通便和心脏保护等。有报道显示豌豆还具有抗氧化、抗微生物和降低血糖的特性,同时,豌豆对餐后血糖的升高有控制作用^[15]。相关研究表明,大量摄入豌豆能够有效降低血糖水平和低密度脂蛋白胆固醇的发病率^[16]。二型糖尿病患者摄入豌豆后,餐后血糖反应显著降低^[17]。含有全豌豆粉的食物,在与全麦面粉制成的相同食物对比时,能够改善健康受试者的餐后葡萄糖反应^[18],其中豌豆淀粉具有使血糖少量升高的作用,而豌豆蛋白、豌豆多肽和豌豆纤维能够使血糖显著降低,因此适合用来开发糖尿病患者食品。

近年来,围绕豆类(包括豌豆)与餐后血糖方面开展了较多的研究,验证了一些相关作用。本文主要综述豌豆的营养成分,分析各成分对血糖的作用及机制,讨论当前研究存在的问题并提出建议研究方向,以期对豌豆食品的深度开发提供依据。

1 豌豆营养成分组成

豌豆主要营养成分包含两部分,一部分是豌豆种子中含有的淀粉、蛋白质、纤维素、维生素、矿物质和植物化学物质^[19],其中蛋白质、淀粉和纤维含量约为 20%~31%^[20],46%和 20%^[11];另一部分是豌豆果皮中的蛋白质、碳水化合物、脂肪、类胡萝卜素、膳食纤维以及叶绿素等。

豌豆蛋白具有良好的氨基酸组成配比^[21],与大豆或者其它植物蛋白相比,具有高消化率、低过敏性或较少负面健康争议的特点^[22]。豌豆蛋白可分为四大类:球蛋白、白蛋白、醇溶蛋白和谷蛋白,

收稿日期: 2022-09-16

基金项目: 国家自然科学基金项目(32072254)

第一作者: 王志倩,女,硕士生

通信作者: 王立 E-mail: wl0519@163.com

其中球蛋白占总蛋白的55%~65%^[20],水溶性白蛋白占豌豆种子总蛋白的18%~25%^[23],醇溶蛋白作为植物储藏蛋白,在豌豆种子中含量很少^[19]。

豌豆淀粉的含量较高^[24],与其它淀粉质豆类一样,含有中等水平的直链淀粉(30%~75%)^[25]。不同种类豌豆的淀粉含量不同,光滑豌豆淀粉中直链淀粉的含量为33.1%~49.6%^[26],皱皮豌豆淀粉中直链淀粉含量为60.5%~88%^[27]。相比于谷类和薯物来讲,豌豆淀粉具有更加特殊的结构和理化性质,在食品工业中主要用于制作凉粉和粉丝等^[28]。

豌豆膳食纤维主要存在于两个部分,一部分存在于豌豆种皮,主要是纤维素,约占75%~80%^[29];一部分存在于脱皮后的豌豆籽粒中,主要包括半纤维素、果胶以及纤维素,约占脱壳豌豆籽粒的10%。豌豆膳食纤维可以通过减少人体对胆汁酸的重吸收来降低血液胆固醇含量^[30]。

豌豆及其种皮中富含维生素和矿物质^[31],每千克豌豆中约含有0.7 mg核黄素、5~6 mg 硫胺素和0.54 mg 叶酸;钾是最主要的元素,约占1.04%,其次还有0.39%的磷、0.10%的镁和0.08%的钙^[32];同时豌豆中还含有一些微量矿物质,包括铁、硒、锌、钼、锰、铜和硼等^[33]。豌豆中的硒和叶酸可用于预防缺乏性疾病,提高食品的生物利用度^[34]。

豌豆中还含有其它成分,包括植酸盐、草酸盐、皂甙和酚类化合物等^[35],这些成分均具有不同的生物活性。除此之外还含有一些抗营养因子,豌豆中的蛋白抗营养因子有凝集素、胰蛋白酶抑制剂、糜蛋白酶抑制剂、抗真菌肽和核糖体失活蛋白,非蛋白抗营养因子包括生物碱、植酸、酚类化合物^[36]。豌豆中的VC、酚类化合物可清除自由基,起到抗癌、防癌延缓衰老的作用^[37]。

此外不同品种、生长时期、生长环境下的豌豆,其营养组成含量不同。目前对于豌豆营养成分的研究大多集中于对单一豌豆品种的研究,加工方式对营养成分流失的影响、抗营养因子对其利用率的影响等问题还有待于进一步研究。

2 豌豆各成分对饮食后血糖含量的影响及机制

2.1 豌豆淀粉

淀粉是豌豆中唯一一个会使餐后血糖升高的

成分。直链淀粉含量、淀粉颗粒光滑度、淀粉的处理条件等因素决定豌豆淀粉的消化性^[38]。淀粉的消化吸收直接影响豌豆餐后血糖水平,豌豆淀粉中直链淀粉含量高,淀粉颗粒直径小,慢消化淀粉(SDS)含量相对较高^[39],因此摄入豌豆淀粉后,血糖升高相对缓慢。徐菁^[40]利用体外消化研究豌豆淀粉的消化性发现,豌豆淀粉消化率比玉米淀粉、大米淀粉低,引起的葡萄糖升高相对缓慢,可能是由于豌豆中存在的抗性淀粉(RS)导致的。RS不被淀粉酶水解,在大肠中由结肠微生物群发酵产生短链脂肪酸,降低结肠pH值、葡萄糖和胆固醇水平^[22]。豌豆中SDS和RS含量较高(分别约占39.2%^[40],7.07%^[41]),消化速率低于根茎淀粉与谷物淀粉^[42],不会引起餐后血糖和胰岛素水平的急剧变化。纯豌豆淀粉与玉米淀粉相比,体外消化率更低,分解生成的葡萄糖含量更少^[40]。

虽然豌豆淀粉正常摄入后会引发体内血糖的小幅升高,但通过预处理可以影响豌豆淀粉消化后的血糖反应。豌豆淀粉超高压处理后,餐后血糖升高缓慢,可能是由于淀粉结构发生改变,对淀粉酶的敏感性降低,导致淀粉较低的消化率^[38];经过酸解和丁酸酐取代处理后的豌豆淀粉,能够显著降低糖尿病小鼠的空腹血糖值,且具有显著的剂量效应,原因可能是处理后的豌豆淀粉中RS含量大大增加,提高了糖尿病小鼠的胰岛素的敏感性^[43]。也有试验显示^[44],挤压处理导致豌豆淀粉的体外消化率上升,这可能是由于挤压提高了豌豆淀粉的糊化度,RS含量降低,导致餐后血糖指数上升。目前对于豌豆淀粉的使用更多集中于粉丝的生产,将其作为控糖食品的原料研究还相对缺乏。

2.2 豌豆蛋白

与谷类蛋白相比,豌豆蛋白生物效价高,具有高水平的赖氨酸、亮氨酸和苯丙氨酸^[45],其必需氨基酸组成与谷类互补。由于其成本低、营养价值高并具有一些健康作用,豌豆蛋白已经逐渐成为大豆或动物蛋白的替代品而被广泛应用于各种健康食品中^[46]。研究表明,豌豆蛋白具有多种生理活性,包括增强机体免疫、改善心血管疾病、提高饱腹感和降低血脂等活性^[47]。

近年来的研究发现,蛋白质在调节淀粉消化

率和随后的餐后血糖中起到重要作用。豌豆蛋白对血糖的调控作用近年来开始受到关注,调查显示^[48]添加少量的豌豆蛋白对餐后血糖和饱腹感有积极影响,富含豌豆蛋白的高碳水化合物饮料会降低餐后血糖反应。Smith等^[49]调查单独给予健康年轻男性豌豆分离蛋白和纤维后,观察对食物摄入30 min和120 min后的主观食欲和血糖水平,发现豌豆蛋白是全黄豌豆中起到抑制食欲和调节血糖的主要成分。Overduin等^[50]研究发现在饮食中添加豌豆蛋白,进食40 min后的血糖含量明显降低。Sze Yen等^[51]将3种来源的植物蛋白(大米、燕麦、豌豆)补充到含糖饮料中,发现添加豌豆蛋白或燕麦蛋白可以减少饮用含糖饮料后体内葡萄糖的波动,降低血糖峰值。Johston等^[52]发现以燕麦粉为主的早餐中加入豌豆纤维和豌豆蛋白,能显著降低餐后血糖水平,两种物质对血糖的降低呈现协同作用。Mollard等^[53]研究了黄色豌豆发现,豌豆蛋白比纤维对餐后血糖降低的贡献更大,但两者一起食用时对餐后血糖的降低具有较好的协同效应。研究表明^[49]豌豆蛋白降低血糖水平存在剂量效应,摄入50 g葡萄糖和50 g豌豆蛋白后,血糖增量曲线下的面积显著低于摄入50 g葡萄糖和25 g豌豆蛋白组,高剂量豌豆蛋白组的餐后胰岛素含量也高于低剂量组,说明豌豆蛋白通过提高餐后胰岛素的含量来降低血糖。

豌豆蛋白降低血糖的机理可能在于两方面,一方面通过促进胰岛素的释放,降低餐后血糖水平。研究发现^[54],在高碳水化合物饮料配方中添加豌豆蛋白会降低餐后血糖反应,这可能是由于豌豆蛋白刺激胰岛素释放的结果,该研究与之前的研究结果一致。据报道^[55],吃了以豌豆蛋白为主料的豆腐汉堡后,餐后血糖水平降低,胰岛素水平升高。同样,Liu等^[56]发现豌豆糖蛋白PGP2(蛋白质含量为85.93%)能够降低糖尿病小鼠的空腹血糖水平,推测PGP2可能促进胰岛素分泌,改善胰岛素抵抗,增强胰岛素敏感性,达到降低血糖的效果。另一方面豌豆蛋白通过增加血浆中胰高血糖素样肽(GLP-1)含量,来间接降低餐后血糖含量。研究显示^[57]食用豌豆蛋白后,血糖含量降低,GLP-1峰值显著增加,胃排空延迟,饱腹感增加,抑制胰高血糖素分泌受到抑制,使血糖得到进一步控

制。此外有学者^[58]研究发现含有豌豆蛋白的饮食在触发胃肠饱腹感信号方面相当有效,胃肠饱腹感可以降低食欲,有效预防肥胖,减少糖尿病等慢性病发生的可能。这些研究试验为豌豆蛋白影响餐后血糖降低的机理提供了参考,但是在人体内豌豆蛋白究竟是以哪个通路、何种方式来调节血糖的,以及长期食用豌豆蛋白对人体激素的影响还缺乏研究。

2.3 豌豆肽

许多研究表明,豌豆肽具有良好的抗氧化性、乳化性、泡沫稳定性、持有型等特性,可用于治疗糖尿病、控制高胆固醇和预防癌症等^[59]。对于健康和糖尿病受试者的临床研究表明,豌豆肽能够降低餐后血糖浓度。Lopez-baron等^[60]发现,与小麦、大米、大豆水解肽相比,豌豆水解肽与碳水化合物混合摄入后,人体血浆葡萄糖含量显著降低。王赛等^[61]使用豌豆低聚肽Val-Glu-Gln对糖尿病小鼠进行灌胃,4周后小鼠空腹血糖降低了46.74%。此外,有研究者^[62]发现从豌豆中分离出的Aglycin多肽具有降低血糖的活性,能够抑制 α -葡萄糖苷酶活性,且难以被金黄色葡萄球菌V8蛋白酶、胃蛋白酶、胰蛋白酶水解,有望成为能够稳控血糖的口服多肽类食品原料^[63]。

豌豆肽一方面可通过抑制淀粉消化,影响葡萄糖生产及其吸收过程,达到餐后控制血糖的效果。研究显示,豌豆肽可以通过影响淀粉结构或抑制淀粉酶活性的方式来抑制淀粉消化。Lopez-baron等^[64]将小麦淀粉与豌豆肽样品相混合,发现小麦淀粉的体外消化率被抑制,推测这可能是豌豆肽增强了淀粉-氢键之间的相互作用,阻断了酶对淀粉颗粒的作用,使得淀粉的消化率被抑制,降低了淀粉的水解程度。Awosika等^[65]在研究豌豆肽对 α -淀粉酶的体外抑制作用时,发现该抑制作用存在剂量效应,经过酶动力学试验后,得出豌豆肽对 α -淀粉酶活性产生竞争性抑制,导致淀粉的分解受到影响的结论。另一方面豌豆肽又可通过调控葡萄糖在机体组织中的代谢,实现降低血糖的作用。研究显示^[66],豌豆衍生肽VLP、LLP、VA和LL可以调节血糖,改善肝细胞胰岛素抵抗,这可能归因于豌豆肽能够调节胰岛素受体底物1(IRS-1)/磷脂酰肌醇-3-激酶(P13K)/蛋白激酶B

(AKT) 和 p38 丝裂原活化蛋白激酶(P38MAPK) 信号通路,增加肝脏对葡萄糖的吸收和消耗,促进葡萄糖转运蛋白 2 的表达,加速葡萄糖在体内的转运,实现血糖的降低。在另一项研究中,Wei 等^[67]发现豌豆寡肽可以显著降低 2 型糖尿病小鼠的空腹血糖水平,改善糖尿病小鼠的糖耐量,这可能是通过加速体内葡萄糖的跨膜运输、刺激肌糖原合成,达到降低血糖的效果。但是实现调节血糖作用的豌豆肽的氨基酸组成和结构,在动物水平和人体内的作用机制研究以及是否存在其它的调节血糖的信号通路,需要进一步探索。

2.4 豌豆纤维

豌豆纤维颜色浅、价格低、气味淡、持水力随着纤维颗粒减小而下降,具有较高的离子交换能力和膨胀力,是一种理想的食用纤维^[65]。与谷类相比,豆类中的膳食纤维含量更高。

虽然目前主要集中于对大豆纤维的研究,但是豌豆纤维也在逐渐成为国内外学者关注研究的焦点。豌豆中的水溶性膳食纤维有较强的吸附脂肪、胆固醇及胆酸钠的能力,除此之外还有抗氧化、螯合铁离子以及还原的能力,可促进酵解、改善糖代谢、降低胆固醇,预防结肠癌、心血管疾病、糖尿病等疾病^[68]。国内外多名学者研究证明豌豆纤维具有降低血糖的功效。Wang 等^[69]通过对高血糖小鼠进行饮食干预后,得出超微粉碎后的豌豆纤维能够显著降低餐后血糖含量的结论;邵娟娟^[70]在研究中发现给糖尿病小鼠灌胃豌豆可溶性膳食纤维 4 周后,小鼠空腹血糖值显著下降,并存在显著的剂量效应;Whitlock 等^[71]在对小鼠进行高脂饮食试验中,加入富含豌豆纤维的豌豆种皮饮食 3 周后,小鼠的空腹血糖值与未添加组相比显著降低。

当前豆类膳食纤维调控血糖作用的研究主要来自大豆、芸豆等,通过抑制 α -淀粉酶活性、提高胰岛素敏感性、增加胰岛素释放激素、调节糖脂代谢、肠道发酵产生短链脂肪酸、提高抗氧化等实现对血糖的调控^[72]。而摄入豌豆纤维后机体血糖水平降低可能有几个原因:豌豆纤维使机体胰岛素敏感组织对葡萄糖的摄取增加;胰岛素对肝脏葡萄糖输出的抑制作用增强;葡萄糖从胃肠道的吸收减少。试验显示^[71],分别将高剂量全豌豆粉和分

离的豌豆果皮粉使小鼠摄入后,体内胰岛素水平显著降低,这可能是由于两者共有的成分豌豆纤维能够显著增加机体对葡萄糖消耗,降低体内葡萄糖循环水平和胰岛素水平。Hashemi 等^[73]发现豌豆膳食纤维能够改善葡萄糖耐受不良大鼠的糖耐量,降低空腹葡萄糖含量,实现对血糖的调控,伴随此现象的是豌豆膳食纤维可以增加结肠中编码黏蛋白 m 的表达、增加血清乙酸盐和丙酸盐的浓度,刺激体内 GLP-1 的释放,减缓葡萄糖的内源性产生。Eslinger 等^[74]观察到黄色豌豆纤维能够显著降低餐后血糖含量,这可能是豌豆中可溶性膳食纤维增加肠道中的黏度,阻碍肠道中葡萄糖分子进入肠道黏膜细胞,同时不可溶性膳食纤维与葡萄糖分子相结合,降低肠液中葡萄糖分子的有效浓度,导致餐后血糖含量降低。虽然有相关实验证明豌豆纤维具有降低餐后血糖的能力,但是有关于调节血糖的豌豆纤维成分组成、作用机制报道极少。

3 结语

现有研究表明,豌豆能够调节餐后血糖水平,主要作用成分包括处理后的豌豆淀粉、豌豆蛋白、豌豆肽和豌豆纤维,这些成分通过对酶和激素等作用,实现调节血糖的作用。但是现有研究还存在一些不足,后续研究可以围绕以下方面开展:1)豌豆中具体成分调节血糖机理如在体内的调节通路方面,仍缺乏直接的科学证据;2)现有调节血糖效果的试验大多还是动物实验或体外试验,对不同身体状况的人群是否有调控血糖的作用,相关试验数据较少;3)现有研究基本都是围绕豌豆中不同组分,但在摄入豌豆时(淀粉、蛋白、多肽、纤维等成分的协同)整体效果还缺乏系统性研究。

参 考 文 献

- [1] WILLIAMS R, KARURANGA S, MALANDA B, et al. Global and regional estimates and projections of diabetes-related health expenditure: Results from the International Diabetes Federation Diabetes Atlas, 9th edition[J]. Diabetes Research and Clinical Practice, 2020, 162(3): 7-14.
- [2] SUN H, SAEEDI P, KARURANGA S, et al. IDF

- Diabetes Atlas: Global, regional and country-level diabetes prevalence estimates for 2021 and projections for 2045[J]. *Diabetes Research and Clinical Practice*, 2022, 183(5): 109–119.
- [3] 黄壮壮, 刘峰, 丁腾, 等. 糖尿病并发症的发病机制及其药物治疗研究进展[J]. *西北药学杂志*, 2019, 34(6): 848–851.
- HUANG Z Z, LIU F, DING T, et al. Pathogenesis of diabetic complications and its pharmacological treatment: A review [J]. *Northwest Pharmaceutical Journal*, 2019, 34(6): 848–851.
- [4] WU Y L, DING Y P, TANAKA Y, et al. Risk factors contributing to type 2 diabetes and recent advances in the treatment and prevention[J]. *International Journal of Medical Sciences*, 2014, 11(11): 1185–1200.
- [5] 唐绍微, 窦茜茜, 莫金秋, 等. 芒果苷及其衍生物对糖尿病小鼠的降糖作用[J]. *医药导报*, 2018, 37(4): 441–444.
- TANG S W, DOU X X, MO J Q, et al. Hypoglycemic effect of mangiferin and its derivatives on diabetic mice[J]. *Herald of Medicine*, 2018, 37(4): 441–444.
- [6] NINOMIYA K, INA S, HAMADA A, et al. Suppressive Effect of the α -amylase inhibitor albumin from buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) on postprandial hyperglycaemia[J]. *Nutrients*, 2018, 10(1): 135–143.
- [7] HASHEMI Z, FOUHSE J, IM H S, et al. Dietary pea fiber supplementation improves glycemia and induces changes in the composition of gut microbiota, serum short chain fatty acid profile and expression of mucins in glucose intolerant rats[J]. *Nutrients*, 2017, 9(11): 1236.
- [8] 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.
- [9] 付王威. 白扁豆多糖对 II 型糖尿病大鼠的降血糖作用及其机制初探[D]. 南昌: 南昌大学, 2021.
- FU W W. Hypoglycemic effect of lentil polysaccharide on type II diabetic rats and its mechanism[D]. Nanchang: Nanchang University, 2021.
- [10] 迟永楠, 孙艳, 钟毓, 等. 白芸豆中 α -淀粉酶抑制剂的提取及其性能研究[J]. *食品科技*, 2017, 42(12): 225–230.
- CHI Y N, SUN Y, ZHONG Y, et al. Preparation and property of α -amylase inhibitor from white kidney beans[J]. *Food Science and Technology*, 2017, 42(12): 225–230.
- [11] ARIF U, AHMED M J, RABBANI M A, et al. Assessment of genetic diversity in pea (*Pisum Sativum* L.) landraces based on physico-chemical and nutritive quality using cluster and principal component analysis[J]. *Pakistan Journal of Botany*, 2020, 52(2): 575–580.
- [12] DAHL W J, FOSTER L M, TYLER R T. Review of the health benefits of peas (*Pisum sativum* L.)[J]. *British Journal of Nutrition*, 2012, 108(S1): S3–S10.
- [13] GUO Q, SU J, YUAN F, et al. Preparation, characterization and stability of pea protein isolate and propylene glycol alginate soluble complexes[J]. *Lwt-Food Science and Technology*, 2019, 101(5): 476–482.
- [14] BOGAHAWATHTHA D, BAO CHAU N H, TRIVEDI J, et al. Impact of selected process parameters on solubility and heat stability of pea protein isolate[J]. *LWT*, 2019, 102(2): 246–253.
- [15] BAUGREET S, GOMEZ C, AUTY M A E, et al. *In vitro* digestion of protein-enriched restructured beef steaks with pea protein isolate, rice protein and lentil flour following sous vide processing[J]. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2019, 54(3): 152–161.
- [16] RAMDATH D, RENWICK S, DUNCAN A M. The Role of pulses in the dietary management of diabetes[J]. *Canadian Journal of Diabetes*, 2016, 40(4): 355–363.
- [17] PARK J, HU J, WU I, et al. Improvement of intake of macronutrients and micronutrients by a high-protein partial meal replacement diet in overweight and obese individuals[J]. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*, 2019, 119(9): A44.
- [18] MARINANGELI C P F, KASSIS A N, JONES P J H. Glycemic responses and sensory characteristics of whole yellow pea flour added to novel functional foods[J]. *Journal of Food Science*, 2010, 74(9): S385–S389.
- [19] ADEBIYI A P, ALUKO R E. Functional properties of protein fractions obtained from commercial yellow

- field pea (*Pisum sativum* L.) seed protein isolate[J]. Food Chemistry, 2011, 128(4): 902–908.
- [20] REINKENSRNEIER A, BASSLER S, SCHLUETER O, et al. Characterization of individual proteins in pea protein isolates and air classified samples[J]. Food Research International, 2015, 76(1): 160–167.
- [21] PENG W W, KONG X Z, CHEN Y, et al. Effects of heat treatment on the emulsifying properties of pea proteins[J]. Food Hydrocolloids, 2016, 52(7): 301–310.
- [22] GUO Q, SU J, YUAN F, et al. Preparation, characterization and stability of pea protein isolate and propylene glycol alginate soluble complexes[J]. LWT—Food Science and Technology, 2018, 101(2): 476–482.
- [23] MCCARTHY N A, KENNEDY D, HOGAN S A, et al. Emulsification properties of pea protein isolate using homogenization, microfluidization and ultrasonication[J]. Food Research International, 2016, 89(1): 415–421.
- [24] WANG N, WARKENTIN T D, VANDENBERG B, et al. Physicochemical properties of starches from various pea and lentil varieties, and characteristics of their noodles prepared by high temperature extrusion[J]. Food Research International, 2014, 55(3): 119–127.
- [25] ZHANG Y P, ZHUANG K, DING W P, et al. Comparison of physicochemical properties of pea starch, potato starch and corn starch[J]. Science and Technology of Food Industry, 2016, 37(4): 183–186.
- [26] ZHOU D T, MA Z, YIN X X, et al. Structural characteristics and physicochemical properties of field pea starch modified by physical, enzymatic, and acid treatments[J]. Food Hydrocolloids, 2019, 93(2): 386–394.
- [27] REN Y K, SETIA R, WARKENTIN T D, et al. Functionality and starch digestibility of wrinkled and round pea flours of two different particle sizes[J]. Food Chemistry, 2021, 336(9): 127711.
- [28] 张燕鹏, 庄坤, 丁文平, 等. 豌豆淀粉与马铃薯淀粉、玉米淀粉理化性质比较[J]. 食品工业科技, 2016, 37(4): 183–186.
- ZHANG Y P, ZHUANG K, DING W P, et al. Comparison of physicochemical properties of pea starch, potato starch and corn starch[J]. Science and Technology of Food Industry, 2016, 37(4): 183–186.
- [29] KUMARI T, DEKA S C. Potential health benefits of garden pea seeds and pods: A review[J]. Legume Science, 2021, 3(2): 82–87.
- [30] JAYALATH V H, DE S R J, SIEVENPIPER J L, et al. Effect of dietary pulses on blood pressure: A systematic review and meta-analysis of controlled feeding trials[J]. American Journal of Hypertension, 2014, 27(1): 56–64.
- [31] PANDEY A K, RUBIALES D, WANG Y, et al. Omics resources and omics-enabled approaches for achieving high productivity and improved quality in pea (*Pisum sativum* L.)[J]. Theoretical and Applied Genetics, 2021, 134(3): 755–776.
- [32] GANESHARANEE R, NALLE C L, ABDUL M, et al. Nutritional and biochemical assessment of field peas (*Pisum sativum* L.) as a protein source in poultry diets[J]. Journal of Poultry Science, 2010, 47(1): 48–52.
- [33] SAHA H, PRAKASH A, KUMAR V, et al. Evaluation of antioxidant activity of *Pisum sativum* (pod and grain) and detection of its bioactive compounds by GCMS analysis[J]. Der Pharmacia Lettre, 2014, 257(6): 359–365.
- [34] 余婷, 王前贵, 田强, 等. 光照强度对豌豆、萝卜芽苗菜营养品质及酚类含量的影响[J]. 农业工程, 2021, 11(7): 113–119.
- YU T, WANG Q G, TIAN Q, et al. Effects of light intensity on nutritional quality and phenolic content of pea and radish sprouts[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2021, 11(7): 113–119.
- [35] ZILANI M, SULTANA T, RAHMAN S A, et al. Chemical composition and pharmacological activities of *Pisum sativum*[J]. BMC Complementary & Alternative Medicine, 2017, 17(1): 171.
- [36] RUNGRUANGMAITREE R, JIRAUNGKOORSKUL W. Pea, *Pisum sativum*, and its anticancer activity[J]. Pharmacognosy Reviews, 2017, 11(21): 39.
- [37] KHANG D, DUNG T, ELZAAWELY A, et al. Phenolic profiles and antioxidant activity of germinated legumes[J]. Foods, 2016, 5(4): 27.
- [38] 刘明. 豌豆淀粉主食加工适应性机制及其加工方式对小鼠餐后血糖的稳态化评价[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2017.
- LIU M. Effect of the processing adaptability of pea starch and the evaluation effect of pretreatment

- methods on postprandial blood glucose in mice[D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2017.
- [39] SUN Q, FAN H, LIU X. Preparation and characterization of starch nanoparticles through ultrasonic-assisted oxidation methods[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2014, 106(1): 359–364.
- [40] 徐箴. 低GI面包的研制及其终产品血糖生成指数的测定[D]. 邯郸: 河北工程大学, 2020.
- XU J. Development of low GI bread and determination of glycemic index of its final product[D]. Handan: Hebei University of Engineering, 2020.
- [41] 姚月华, 唐宁, 杨舒莹, 等. 箭筈豌豆淀粉理化及消化特性研究[J]. *中国粮油学报*, 2020, 35(12): 8–14, 22.
- YAO Y H, TANG N, YANG S Y, et al. Study on physicochemical and digestive characteristics of arrowhead pea starch[J]. *Journal of Chinese Cereals and Oils Association*, 2020, 35(12): 8–14, 22.
- [42] AGUILERA Y, ESTEBAN R M, BENÍTEZ V, et al. Starch, functional properties, and microstructural characteristics in chickpea and lentil as affected by thermal processing[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2009, 57(22): 10682–10688.
- [43] 董福月. 微晶丁酸酯豌豆淀粉的制备及功能研究[D]. 济南: 齐鲁工业大学, 2021.
- DONG F Y. Preparation and function of microcrystalline butyrate pea starch[D]. Jinan: Qilu University of Technology, 2021.
- [44] 戚明明, 任志尚, 张光耀, 等. 挤压处理对豌豆淀粉的流变特性和体外消化率的影响(英文)[J]. *食品科学*, 2021, 42(9): 55–63.
- QI M M, REN Z S, ZHANG G Y, et al. Effect of extrusion treatment on rheological properties and *in vitro* digestibility of pea starch (English)[J]. *Food Science*, 2021, 42(9): 55–63.
- [45] GORISSEN S, WITARD O C. Characterising the muscle anabolic potential of dairy, meat and plant-based protein sources in older adults[J]. *Proc Nutr Soc*, 2018, 77(1): 1–12.
- [46] LU Z X, HE J F, ZHANG Y C, et al. Composition, physicochemical properties of pea protein and its application in functional foods[J]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2019, 60(1): 1–13.
- [47] LI H, PRAIRIE N, UDENIGWE C C, et al. Blood pressure lowering effect of a pea protein hydrolysate in hypertensive rats and humans[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2011, 59(18): 9854–9860.
- [48] MOLLAR D R C, LUHOVYY B L, SMITH C, et al. Acute effects of pea protein and hull fibre alone and combined on blood glucose, appetite, and food intake in healthy young men – a randomized crossover trial [J]. *Applied Physiology Nutrition & Metabolism*, 2014, 39(12): 1360–1365.
- [49] SMITH C E, MOLLAR D R C, LUHOVYY B L, et al. The effect of yellow pea protein and fibre on short-term food intake, subjective appetite and glycaemic response in healthy young men[J]. *Br J Nutr*, 2012, 108 Suppl 1(S1): S74.
- [50] OVERDUIN J, GUÉRIN-DEREMAUX L, WILS D, et al. NUTRALYS® pea protein: characterization of *in vitro* gastric digestion and *in vivo* gastrointestinal peptide responses relevant to satiety[J]. *Food & Nutrition Research*, 2015, 59(1): 25622.
- [51] SZE-YEN, TA, PHEI, et al. Influence of rice, pea and oat proteins in attenuating glycemic response of sugar-sweetened beverages[J]. *European Journal of Nutrition*, 2017, 57(8): 2795–2803.
- [52] JOHNSTON A J, MOLLARD R C, DANDENEAU D, et al. Acute effects of extruded pea fractions on glycemic response, insulin, appetite, and food intake in healthy young adults, results of a double-blind, randomized crossover trial[J]. *Applied Physiology Nutrition and Metabolism*, 2021, 46(9): 1126–1132.
- [53] MOLLARD R C, LUHOVYY B L, PANAH S, et al. Regular consumption of pulses for 8 weeks reduces metabolic syndrome risk factors in overweight and obese adults[J]. *British Journal of Nutrition*, 2012, 108(S1): S111–S122.
- [54] THONDRE P S, ACHEBE I, SAMPSON A, et al. Co-ingestion of NUTRALYS (R) pea protein and a high-carbohydrate beverage influences the glycaemic, insulinaemic, glucose-dependent insulinotropic polypeptide (GIP) and glucagon-like peptide-1 (GLP-1) responses: preliminary results of a randomised controlled trial[J]. *European Journal of Nutrition*, 2021, 60(6): 3085–3093.
- [55] KAHLEOVA H, TURA A, KLEMENTOVA M, et al. A plant-based meal stimulates incretin and insulin secretion more than an energy- and macronutrient-matched standard meal in type 2 diabetes: A

- randomized crossover study[J]. *Nutrients*, 2019, 11(3): 486.
- [56] LIU J P, QIAN Y F, QING Y X, et al. Antidiabetic activities of glycoprotein from pea (*Pisum sativum* L.) in STZ-induced diabetic mice[J]. *Food & Function*, 2021, 12(11): 5087-5095.
- [57] NGUYEN N Q, FRASER R J, BRYANT L K, et al. The relationship between gastric emptying, plasma[J]. *Medical Journal of Chinese People's Liberation Army*, 2013, 16(5): 406-410.
- [58] MARINANGELI C, JONES P. Pulse grain consumption and obesity: Effects on energy expenditure, substrate oxidation, body composition, fat deposition and satiety [J]. *The British journal of nutrition*, 2012, 108(S1): S46-51.
- [59] 陈丽娜, 温宇旗, 韩国庆, 等. 生物活性肽制备工艺的研究进展[J]. *农产品加工*, 2018, 17(6): 57-62.
- CHEN L N, WEN Y Q, HAN G Q, et al. The research progress of preparation of bioactive peptide [J]. *Farm Products Processing*, 2018, 17(6): 57-62.
- [60] LOPEZ-BARON N, GU Y, VASANTHAN T, et al. Plant proteins mitigate in vitro wheat starch digestibility[J]. *Food Hydrocolloids*, 2017, 69(8): 19-27.
- [61] 王赛, 孙婉婷, 王猛, 等. 豌豆低聚肽对 2 型糖尿病小鼠肝脏 PI3K/AKT/FOXO1 信号通路的调节作用 [J]. *现代食品科技*, 2021, 37(2): 21-27.
- WANG S, SUN W T, WANG M, et al. Regulatory effect of pea oligopeptide on PI3K/AKT/FOXO1 signaling pathway in liver of type 2 diabetic mice[J]. *Modern Food Science & Technology*, 2021, 37(2): 21-27.
- [62] 黄敏华, 林静莲, 王蒙, 等. 降糖肽 Aglycin 的高效表达及活性鉴定[J]. *现代食品科技*, 2020, 36(4): 143-149, 219.
- HUANG M H, LIN J L, WANG M, et al. High-level expression and activity determination of hypoglycemic peptide aglycin[J]. *Modern Food Science & Technology*, 2020, 36(4): 143-149, 219.
- [63] LU J, YING Z, HOU W, et al. The soybean peptide aglycin regulates glucose homeostasis in type 2 diabetic mice via IR/IRS1 pathway [J]. *Journal of Nutritional Biochemistry*, 2012, 23(11): 1449-1457.
- [64] LOPEZ-BARON, NATALY, SAGNELLI, et al. Hydrolysed pea proteins mitigate in vitro wheat starch digestibility [J]. *Food Hydrocolloids*, 2018, 79(9): 117-126.
- [65] AWOSIKA T O, ALUKO R E. Inhibition of the *in vitro* activities of α - amylase, α - glucosidase and pancreatic lipase by yellow field pea (*Pisum sativum* L.) protein hydrolysates [J]. *International Journal of Food Science & Technology*, 2019, 54(6): 2021-2034.
- [66] ZHU Y, ZHANG H X, WEI Y, et al. Pea-derived peptides, VLP, LLP, VA, and LL, improve insulin resistance in HepG2 cells via activating IRS-1/PI3K/AKT and blocking ROS-mediated p38MAPK signaling[J]. *Journal of Food Biochemistry*, 2020, 44(11): e13454.
- [67] WEI Y, ZHANG R X, FANG L, et al. Hypoglycemic effects and biochemical mechanisms of Pea oligopeptide on high - fat diet and streptozotocin induced diabetic mice[J]. *Journal of Food Biochemistry*, 2019, 43(2): 137-146.
- [68] ROY F, BOYE J I, SIMPSON B K. Bioactive proteins and peptides in pulse crops: Pea, chickpea and lentil[J]. *Food Research International*, 2010, 43(2): 432-442.
- [69] WANG M, CHEN X, DONG L, et al. Modification of pea dietary fiber by ultrafine grinding and hypoglycemic effect in diabetes mellitus mice[J]. *Journal of Food Science*, 2021, 86(4): 1273-1282.
- [70] 邵娟娟. 豌豆皮水溶性膳食纤维的制备及性质研究 [D]. 无锡: 江南大学, 2011.
- SHAO J J. Study on the preparation, characteristic and application of pea-hulls soluble dietary fiber [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2011.
- [71] WHITLOCK K, KOZICKY L, JIN A, et al. Assessment of the mechanisms exerting glucose-lowering effects of dried peas in glucose-intolerant rats[J]. *The British Journal of Nutrition*, 2012, 108(S1): S91-S102.
- [72] 周芳宁. 豌豆渣膳食纤维的性能研究及食品开发[D]. 石家庄: 河北科技大学, 2016.
- ZHOU F N. Study on properties and food development of dietary fiber from pea residue [D]. Shijiazhuang: Hebei University of Science & Technology, 2016.
- [73] HASHEMI Z, YANG K, YANG H, et al. Cooking enhances beneficial effects of pea seed coat consumption on glucose tolerance, incretin, and pan-

creatic hormones in high-fat-diet-fed rats[J]. Applied Physiology Nutrition and Metabolism, 2015, 40(4): 323-333.

[74] ESLINGER A J, ELLER L K, REIMER R A. Yel-

low pea fiber improves glycemia and reduces Clostridium leptum in diet-induced obese rats [J]. Nutrition Research, 2014, 34(8): 714-722.

Effects of Pea Constituents on Blood Glucose: A Review

Wang Zhiqian, Li Yan, Qian Haifeng, Wang Li*

(School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, Jiangsu)

Abstract Pea, as a nutritious legume crop, contains many healthy ingredients. Lots of reports had shown that its components (starch, protein, peptide, dietary fiber) have a role in regulating blood glucose. The nutrient compositions of pea were introduced. Meanwhile, their effects on blood glucose were also summarized and the mechanism was also discussed. Furthermore, the problem in utilization of pea were discussed and the research emphasis in the future was prospected, which is helpful for further development and application of pea in food industry.

Keywords pea; nutrients; regulation of blood glucose; mechanism

《中国食品学报》2024年征订启事

《中国食品学报》(月刊)是中国食品科学技术学会的会刊(国际标准连续出版物号:ISSN 1009-7848;国内统一连续出版物号:CN 11-4528/TS),是代表我国现代食品科学技术发展水平的学术期刊,属中国科技核心期刊和中文核心期刊。目前已被国内外许多著名检索机构收录为源期刊,如美国《工程索引》(EI)、美国《化学文摘》(CA)、《食品科学与技术文摘》(FSTA)、中国科学引文数据库(CSCD)、荷兰《文摘引文数据库》(Scopus)、《日本科学技术振兴机构(中国)数据库》(JSTChina)等。

《中国食品学报》刊载内容主要有:食品及食品工业发展相关的原料、配料、工艺、工程、包装、机械、流通、检测、安全、综合利用、新产品等方面的科研成果、研究报告以及食品科学与技术的发展趋势等方面的综述。目前设置的栏目有:名家论坛、青年论坛、特约专栏、基础研究、营养与功能、加工与制造、贮藏与保鲜、分析与检测、研究进展等。欢迎国内外食品及相关专业领域的科研人员踊跃订阅。

定 价: 60元/期,全年12期,共计720元(含邮资)

联 系 人: 蒋老师

联系电话: 010-65265376 转 831

传 真: 010-65264731

邮 箱: chinaspbx@vip.163.com

通讯地址: 北京市海淀区阜成路北三街8号9层(邮编100048)