

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2021.03.020

燕子豪, 汪丽萍, 谭斌, 等. 谷物食品血糖生成指数研究进展[J]. 粮油食品科技, 2021, 29(3): 147-156.

YAN Z H, WANG L P, TAN B, et al. Advances in glycemic index of cereal foods[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2021, 29(3): 147-156.

谷物食品血糖生成指数研究进展

燕子豪^{1,2}, 汪丽萍¹✉, 谭斌¹, 刘艳香¹, 乔聪聪¹, 田晓红¹, 郑先哲²

(1. 国家粮食和物资储备局科学研究院, 北京 100037;

2. 东北农业大学 工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150030)

摘要: 近年来, 糖尿病已成为困扰全人类的公共卫生问题, 研究表明, 糖尿病与血糖生成指数 (Glycemic Index, GI) 显著相关。谷物是我国居民主要的膳食来源, 与人体健康密切相关。谷物食品的血糖生成指数受包括其基本组分、加工方式等多种因素的影响。对近年来谷物 GI 值的主要影响因素及机理与低 GI 谷物食品的研究进展进行综述, 以为高血糖患者饮食需求、低 GI 食品研发提供参考依据。

关键词: 谷物; 血糖生成指数; 影响因素; 低 GI 食品; 加工方式

中图分类号: TS201.4; R587.1 文献标识码: A 文章编号: 1007-7561(2021)03-0147-10

Advances in Glycemic Index of Cereal Foods

YAN Zi-hao^{1,2}, WANG Li-ping¹✉, TAN Bin¹, LIU Yan-xiang¹,
QIAO Cong-cong¹, TIAN Xiao-hong¹, ZHENG Xian-zhe²

(1. Academy of National Food and Strategic Reserves Administration, Beijing 100037, China;

2. Northeast Agricultural University, School of Engineering, Harbin, Heilongjiang 150030, China)

Abstract: In recent years, diabetes has become a public health problem troubling all mankind. Studies have shown that diabetes has a significant correlation with the Glycemic Index (GI). Grain is the main dietary source of Chinese and is closely related to human health. The glycemic index of cereals is influenced by a number of factors, including its basic components and processing methods. In this review, factors, mechanisms affecting the glycemic index of cereals as well as the national and international studies on advances in low GI cereals in recent years were introduced, so as to provide reference and assistance for the dietary choices of patients with high glucose and the research and development of low-GI foods.

Key words: cereal; glycemic index; influence factors; low-GI food; processing mode

血糖生成指数 (glycemic index, GI) 是反映食物餐后血糖应答的生理学特征性指标^[1]。由加

拿大多伦多大学的 Jenkins 博士于 1981 年首次提出。GI 值表示当食用含 50 g 有价值的碳水化合物的食物后, 在一定时间内 (一般为 2 h) 体内血糖水平应答与食用相当量的葡萄糖或白面包引起的血糖应答水平的比值。根据 GI 值的不同, 食物被分为高 GI 食物 (GI>70), 中 GI 食物 (55<GI≤70), 低 GI 食物 (GI≤55)^[2]。1997 年, 联合国粮食及农业组织 (FAO) 和世界卫生组织 (WHO)

收稿日期: 2020-12-29

基金项目: “十三五” 国家重点研发计划项目(2017YFD0401204)

Supported by: National Key Research and Development Project of the 13th Five-Year Plan, China (No. 2017YFD0401204)

作者简介: 燕子豪, 男, 1994 年出生, 在读研究生, 研究方向为农产品加工。E-mail: 15114687065@163.com.

通讯作者: 汪丽萍, 女, 1978 年出生, 博士, 研究员, 研究方向为粮油加工。E-mail: wlp@ags.ac.cn.

赞成使用 GI 方法对富含碳水化合物的食物进行分类,并建议将食物的 GI 值与有关食物组成的信息一起使用,以指导食物的选择^[3]。

研究表明,食物 GI 与人体健康息息相关。高 GI 食物可以引起胰岛素效应下降,造成胰岛素抵抗,不利于 II 型糖尿病的预防和治疗^[4]。Asma 等^[5]通过 DSFFQ 方法分析发现,饮食 GI 与腹部肥胖之间存在显著的正相关。Castro-Quezada 等^[6]研究发现,高 GI 饮食容易增加老年人患心血管疾病的风险。Mirrahimi 等^[7]通过 Meta 分析方法发现高 GI 饮食也容易导致女性群体心血管疾病的发生。此外,食物 GI 与结肠癌、乳腺癌、前列腺癌、子宫癌等癌症也存在着正相关性^[8-11]。相比之下,长期食用低 GI 食物对于调节和控制人体血糖,改善 II 型糖尿病,降低心血管疾病患病风险,抑制肥胖、抗高血压等有重要作用^[12]。

近年来,随着人们生活水平的提高与生活节奏的改变,谷物摄入量减少且从粗粮向精米精面转变,谷物精细加工导致谷物部分营养元素的流失,引起谷物血糖生成指数的变化,从而导致糖尿病、肥胖症、心血管疾病、高血压等慢性疾病的高发。谷物食品是我国居民主要的膳食来源,与人体健康密切相关。研究发现,谷物食品的 GI 值受多种因素共同影响,包括谷物基本组分、谷物加工方式等。本文综述了近年来谷物食品 GI 值的主要影响因素及低 GI 谷物食品的研究进展,并对低 GI 谷物食品的未来发展加以展望,以期对低 GI 谷物食品开发提供参考。

1 谷物基本组分对 GI 值的影响

谷物含有大量的碳水化合物(70%~80%),丰富的蛋白质(8%~12%),少量的脂肪(2%~3%)及微量的维生素与无机盐。研究表明谷物原料的基本组分对其 GI 值有较大影响,但不同组分对 GI 值的影响不同。

1.1 淀粉

淀粉为高分子碳水化合物,是谷物最主要的组成部分,对谷物食品的 GI 值起决定性作用。淀粉按其结构特性可分为直链淀粉与支链淀粉两类。直链淀粉与支链淀粉相比,分子量小,分支程度轻,淀粉酶作用位点少,空间构象卷曲成螺

旋形,结构更加致密。Annor 等^[13]研究发现,直链淀粉可以与脂类形成抗消化的复合物,降低淀粉消化率。Zeng 等^[14]发现,直链淀粉可以降低淀粉糊化度,提升结晶度,促进淀粉老化,因此,直链淀粉含量越高,谷物 GI 值通常越低^[15]。

Englyst^[16]从消化特性角度将淀粉分为快速消化淀粉(Rapidly Digestible Starch, RDS)、慢消化淀粉(Slowly Digestible Starch, SDS)以及抗性淀粉(Resistant Starch, RS)。RDS 是指在小肠内能够在 20 min 之内被消化吸收的淀粉,SDS 指在小肠中 20~120 min 被完全消化吸收的淀粉,RS 指在人体小肠内不能被消化吸收^[17],但是可以在大肠内被肠道微生物部分发酵的淀粉^[18]可以有效降低 GI 值。

因此,在低 GI 食品生产中,可优先选择直链淀粉与抗性淀粉含量高的谷物作为食品原料。

1.2 蛋白质

谷物麸皮、胚乳与胚芽均含有一定量的蛋白质,是谷物的重要组成部分。研究表明,谷物蛋白质对其消化特性具有重要影响。

现阶段研究蛋白质对谷物食品消化特性的影响主要有两种方法,第一种是向谷物食品中添加外源性蛋白质,另一种方法是向谷物食品中添加蛋白酶去除其内源性蛋白。尹显婷等^[19]为改善小麦面条品质,在小麦粉中添加大豆蛋白(全脂豆粉、脱脂豆粉、大豆分离蛋白、大豆浓缩蛋白、大豆组织蛋白)。研究发现,添加不同大豆蛋白均能抑制淀粉的水解率。在小麦粉中添加大豆浓缩蛋白、大豆分离蛋白、大豆组织蛋白后,面条的 GI 值降低,面条血糖生成指数依次为:大豆组织蛋白>大豆浓缩蛋白>大豆分离蛋白。Singh 等^[20]去除玉米粉与小麦粉中的蛋白质,研究蛋白质对玉米粉、小麦粉体外消化率的影响,结果表明,这两种处理均会导致淀粉体外消化率的显著提高。Ye 等^[21]为评价内源性组分对米粉消化特性的影响,对米粉进行去蛋白质处理,发现与原米粉相比,去蛋白质组米粉 GI 值显著升高。张慧等^[22]对小麦进行脱蛋白处理后,发现淀粉酶与淀粉接触变的更容易,小麦消化特性大大提升。

目前,蛋白质降低淀粉消化率的机制主要包括以下几方面:蛋白质形成网络结构,对淀粉紧

密包裹, 淀粉酶水解淀粉前, 需要蛋白酶首先对其外层的蛋白质进行水解^[23], 从而延缓淀粉酶对淀粉的水解作用, 使双糖和单糖释放速度减慢, GI 下降。蛋白质中白蛋白、球蛋白和谷蛋白等被粘在淀粉颗粒周围的基质中作为淀粉消化的屏障, 阻断淀粉酶在淀粉颗粒表面的催化结合^[24]; 蛋白质与 α -淀粉酶间存在相互作用, Bhattarai 等^[25]研究发现, 蛋白质可以与 α -淀粉酶部分结合, 从而降低酶的利用率。此外, 蛋白质可以刺激人体分泌胰岛素, 降低血糖应答水平^[26]。

1.3 脂肪

谷物脂肪含量偏低, 只占 2% 左右, 但其对谷物食品的消化特性同样有重要影响, 甚至在某些研究中, 脂肪对 GI 值的影响要高于蛋白质^[27]。

Annor 等^[13]研究了脱脂小米粉、小米粉和小米淀粉的体外消化率, 研究发现, 体外消化率为: 小米淀粉>脱脂小米粉>小米粉, 脱脂后的小米粉 GI 值明显升高。Srikanlaya 等^[28]在制作面包过程中加入黄油, 当黄油添加量分别为 (10、20、30 g) / (100 g 面粉) 时, 面包的 GI 值分别为 83.10、80.27、76.80。潘海坤等^[29]以粳糯米和籼糯米为原料制成的米饭、年糕、油饭、油糕均为高 GI 食物, 加入猪油制成的油饭、油糕 GI 值略微降低, 但无显著性差异。在食品中加入油脂或对食品原料进行脱脂处理均会影响食品的 GI 值, 但不同脂类对不同原料的影响不同。虽然添加油脂可以在一定程度上降低谷物食品 GI 值, 但高脂肪食品并不适合糖尿病患者食用, 较多的脂肪会降低胰岛素敏感性, 不利于长期血糖控制。

目前的研究表明, 脂肪能够降低食品 GI 值主要包含以下几个方面的原因: 一是脂肪与直链淀粉形成复合物, 减缓淀粉消化速度、降低淀粉在小肠中的吸收率、降低餐后血糖反应^[27]。其中, 单甘酯/游离脂肪酸能与直链淀粉形成复合物, 但三甘酯或二甘酯不易与直链淀粉形成复合物; 二是脂肪能够降低淀粉的凝胶化, 延缓食物在胃内的排空, 降低 GI 值^[30]。三是脂肪对淀粉酶产生一定抑制作用, 阻碍淀粉与淀粉酶的结合, 从而影响体内血糖反应^[31]; 四是脂肪能够刺激肠抑胃肽的释放, 进而使胰岛素分泌增强来降低人体餐

后血糖^[32]。此外, 脂肪的疏水性可以在一定程度上阻止淀粉与水的接触, 降低了淀粉的糊化度, 影响淀粉的消化率^[33]。

1.4 膳食纤维

膳食纤维对谷物食品 GI 值的影响并不绝对, 受来源与种类的影响, 在大部分的研究中, 膳食纤维具有降低 GI 值的功效。

Kurek 等^[34]研究燕麦、亚麻及苹果的膳食纤维作为强化剂对小麦面包品质的影响。与对照组面包估计血糖生成指数 (Expected Glycemic Index, eGI) 值 76.38 相比, 加入燕麦、亚麻及苹果膳食纤维的面包 eGI 值分别为 38.58、25.06 及 32.80。三种膳食纤维的加入均显著降低小麦面包的 eGI 值。膳食纤维对谷物 GI 值的影响还与膳食纤维的添加量有关。王娴^[35]通过在原料粉中加入有降血糖功能的菊粉、大豆多糖及燕麦麸等辅料来制备复配米, 探讨 3 种辅料添加对复配米的食用品质及体外消化率的影响。研究发现菊粉、燕麦麸、大豆多糖等辅料添加可显著影响复配米的体外消化 GI, 随着辅料添加量的增加, 体外预测 GI 降低。其中, 大豆多糖对复配米的 GI 影响最为显著, 当大豆多糖添加量大于 35% 时, 复配米的体外预测 GI 降至 55% 以下, 属于低 GI 食物。菊粉及燕麦麸在添加量较低时, 对复配米体外预测 GI 的影响较小, 但当添加量大于 50% 时, 菊粉及燕麦麸添加组复配米的体外预测 GI 均降至 55% 以下, 达到低 GI 食物范围。另有研究发现^[36], 当使用燕麦麸替代面粉时, 在较低的替代水平下, 淀粉水解率降低, 当添加量为 10.0 g/100 g 时, 淀粉水解率反而升高。刘成梅等^[37]在挤压重组米中加入燕麦膳食纤维, 研究表明, 燕麦膳食纤维的加入会降低重组米的 GI 值, 但效果并不明显。

Regand 等^[38]研究发现, 膳食纤维可以提高消化体系黏度, 降低淀粉流动性^[39], 进而降低淀粉的消化速率, 减慢葡萄糖的释放; 膳食纤维的添加可改变淀粉比例, Reshmi 等^[40]和 Borczak 等^[41]在研究中都发现, 在谷物制品中加入膳食纤维制剂可导致抗性淀粉含量的增加。Oh 等^[42]研究比较了可溶性与不溶性膳食纤维对于面包消化特性的影响, 发现增加不溶性膳食纤维比率, 慢消化淀

粉含量增加,快消化淀粉含量降低,从而降低整个淀粉基质的消化率。可溶性膳食纤维含有大量亲水基团,这些基团与淀粉竞争性吸水,导致淀粉糊化程度下降,消化率降低^[43]。Bernabé 等^[44]发现,部分膳食纤维可以通过影响胰岛素敏感性进而影响人体血糖含量。在物理结构方面,膳食纤维也可以形成空间网络支架,对淀粉颗粒进行包裹,阻碍淀粉酶对淀粉的水解^[45]。

1.5 其他

除以上基本组分外,谷物中的一些糖原、抗营营养素、矿物质等也会影响其 GI 值。Srikaeo^[46]研究了棕榈糖与普通蔗糖、椰子糖及山梨醇对小麦粉体外淀粉消化率的影响。结果显示向小麦粉中添加四种甜味剂均会对产品的 GI 值产生影响。Sharma^[47]研究不同水稻品种植酸含量对其 GI 的影响。结果表明植酸含量越高,淀粉水解速率越小。植酸能结合 Ca^+ 离子,通过与一些氨基酸残基结合影响淀粉酶活性,降低淀粉消化率,此外,植酸还可以通过与淀粉相关的蛋白质结合或通过结合消化酶来影响淀粉的消化率。张瑞等^[48]研究发现,异槲皮素具有抑制 α -葡萄糖苷酶的作用,可降低小鼠血糖应答水平。此外,相关研究表明,铬、锌等矿物质可以密切影响人体胰岛素的合成、分泌以及在体内的含量,对人体血糖水平同样具有重要影响^[49-50]。

2 常见加工方式对谷物 GI 值影响

除谷物基本组分对其 GI 值有影响外,谷物的加工方式同样对 GI 值有重要影响。在不同的加工方式下,谷物淀粉的糊化程度、蛋白质的变性程度、脂肪的水解程度等均不相同,因此,研究不同加工方式对谷物 GI 值的影响具有重大意义。

2.1 蒸煮

蒸煮是一种公认的健康烹调方式,整个过程在较低的温度下完成,在杜绝病原微生物危害的同时,可使食品的营养素比较完整地保留下来,是谷物食品加工的常用方式。

Tian 等^[51]研究煮制对马铃薯微观结构和消化率变化的影响。研究发现,煮制可以显著影响马铃薯的微观结构,引起细胞的断裂和破碎,使淀

粉颗粒的表面变得粗糙和扁平^[52],同时,煮制能影响淀粉消化率和体内葡萄糖反应,可提高马铃薯的 GI 值。谷物在蒸煮过程中与水分充分接触,淀粉颗粒糊化充分,原料消化率会大大提高,但在实际加工过程中,蒸煮对不同的谷物 GI 值的影响情况有所不同。崔亚楠等^[53]研究不同加工方式对谷物和豆类血糖生成指数的影响,蒸煮后谷物和豆类 eGI 变化由高到低为:黑麦>薏米>燕麦>花芸豆>鹰嘴豆。同一种谷物或豆类经蒸煮、挤压、滚筒干燥 3 种加工方式加工后其 eGI 由高到低依次为:滚筒干燥>挤压>蒸煮。另有研究发现,玉米淀粉^[54]、大米淀粉^[55]、青稞^[56]在蒸煮加工后所得抗性淀粉含量高于其他加工方式,eGI 值较低。

蒸煮加工对谷物 GI 值的影响与谷物种类、加工条件密切相关。蒸煮加工可以显著改变谷物微观结构,使淀粉充分糊化,提高谷物 GI 值,但同样可以改变谷物淀粉结构比例,促进抗性淀粉的生成。

2.2 挤压膨化

挤压膨化加工是一种高温短时加工,对食品营养成分破坏少,经挤压膨化后的原料适用性广,目前已广泛应用于谷物食品的加工,常见的原料有大豆、玉米、糙米、燕麦等^[57]。物料在挤压膨化过程中受到热能、压力和机械力的综合作用,质构与品质产生明显变化,不仅钝化抗营养因子,还可以杀灭致病菌等有害微生物进而提高产品稳定性,使产品更加健康安全^[58]。Bouasla^[59]研究发现挤压加工会加快大米淀粉水解速率,升高米产品 GI 值。挤压过程中的高温、高压和高剪切作用导致淀粉分子间的氢键断裂,大分子物质降解,增加了淀粉对消化酶的敏感性^[60]。冯进^[61]等以混合杂粮粉(蚕豆粉:荞麦粉:魔芋精粉质量比 10:9:1)为原料,在物料含水量 16%,Ⅲ区挤压温度 142 °C,螺杆转速 146 r/min 条件下制备的杂粮膨化营养粉其估计血糖生成指数显著低于杂粮原料粉。他分析可能的原因是膨化处理提高了可溶性膳食纤维含量,或淀粉发生了回生,增加了抗性淀粉含量^[62]。研究中还发现挤压膨化过程的工艺参数显著影响谷物消化特性,与韩玲玉^[63]研究结果一致。此外,对原料的一些预处理同样

会降低产品的 GI 值。赵志浩等^[64]研究发现预酶解(α -淀粉酶)-挤压膨化处理可以使糙米粉的淀粉含量和糊化度显著降低,还原糖、可溶性蛋白含量显著提高,淀粉体外消化速率减慢,快消化淀粉比例显著降低,产品 GI 值降低。

挤压膨化加工与其他加工方式一样,会改变谷物的消化特性,但由于某些原料特性与工艺参数的不同,某些谷物在加工后可实现 GI 值的降低,这是其他加工方式难以实现的。

2.3 焙烤

焙烤是一种利用热辐射的干热加工方式,在热辐射的作用下,食品物料发生蛋白质凝固和淀粉糊化,进而使食品达到熟化的目的。在焙烤过程中,食品物料会产生复杂的成色反应与香味物质的生成,是面包、蛋糕类产品制作不可缺少的步骤,也是玉米、马铃薯等加工的重要方式。在对甘薯的研究中,Allen 等^[65]发现在焙烤后甘薯的 GI 值比焙烤前明显增加。这是因为在焙烤过程中,淀粉糊化分解成糊精和麦芽糖,更有利于人体的消化吸收。Bosmans^[66]在对面包的焙烤中发现,焙烤时间会影响淀粉的回生程度与网络结构,适当延长焙烤时间有助于降低产品的 GI 值。焙烤中的高温使谷物蛋白质变性、淀粉糊化,更容易被消化吸收,提升了谷物的 GI 值,但在加工中,同样可以通过控制工艺参数来适当减缓谷物 GI 值的改变。

2.4 油炸

油炸是将食品置于较高温度的油脂中,使其加热快速熟化的一种加工方法。油炸具有改善食品风味、杀灭微生物、延长食品的货架期等优点。Perceval^[67]等探讨了不同传统烹饪方法对牙买加常见 10 个甘薯品种血糖指数的影响。研究发现与烤制相比,油炸甘薯拥有更低的 GI 值。Odenigbo 等^[68]研究油炸对不同品种甘薯淀粉消化特性与估计血糖生成指数的影响,发现油炸后的马铃薯均为中低 GI 食品。由此可见,油炸并不会显著提高谷物 GI 值,一方面可归因于脂肪含量的增加,导致淀粉凝胶化迟缓,从而延缓胃排空和血糖反应^[69],另一方面,与蒸煮相同,油炸加工增加了抗性淀粉含量,降低了总淀粉水解率^[70]。

3 低 GI 谷物食品研发

目前,根据人们的饮食习惯已在多种日常食品中进行了低 GI 谷物食品的研发。

3.1 挂面

挂面是以小麦粉为主要原料,是我国及亚洲其他国家的主食之一,挂面的 GI 值比较高,不适合糖尿病患者食用,近些年,随着消费者健康意识的提高,低 GI 挂面的研发成为研究的热点。

Beniwal 等^[71]以农产品加工的副产物碎孟家拉豆与碎米为原料生产挂面,所得产品 GI 值仅为 45.8,属于低 GI 食品。Suk 等^[72]在小麦粉中加入家蚕粉制备家蚕粉面条,并与纯小麦粉制备的对照组面条对比测定其对人体血糖值的影响。实验受试者为 13 名成年男性,在进食两种面条的第 0、15、30、45、60、90、120、180 min 后测定其血糖浓度,发现食用家蚕粉面条的受试者在各个阶段的血糖浓度均低于对照组,且血糖浓度变化较为平缓,食用对照组面条的受试者其血糖浓度存在急升急降变化,不利于人体的血糖控制。李勇等^[73]以小麦鲜湿面为对照,比较评价添加板栗全粉对鲜湿面体外淀粉模拟消化特性的影响,研究发现添加板栗全粉鲜湿面的 eGI 值显著低于纯小麦鲜湿面,并且随着板栗全粉添加量的增大,鲜湿面的 eGI 值逐渐降低。

3.2 饼干

饼干是我国最重要的焙烤食品之一,具有营养价值高、食用方便、价格低廉、易于携带等优点,适合社会各阶层消费,但日常食用的饼干拥有较高的 GI 值,不利于人体血糖管理。

Jariyah 等^[74]进行单因素五水平实验探究 Pedada 粉添加量对饼干 GI 值的影响,最终确定 Pedada 粉与芋头淀粉比例为 2:8,实验制备的饼干 GI 值为 48.83。Gbenga^[75]探究树豆粉替代部分小麦粉对饼干 GI 值的影响,研究发现,树豆粉的加入可显著降低面包 GI 值,随着树豆粉添加量的增加,饼干 GI 值不断降低,当添加量达到 75% 时,饼干 GI 值为 51.67。彭辉等^[76]以低血糖生成指数原料-抗性糊精部分替代低筋面粉、低聚异麦芽糖替代蔗糖研制低血糖生成指数的饼干。按照抗性糊精替代 30%低筋面粉、低聚异麦芽糖添加

量 15% 的条件下, 可以得到色香味俱全的抗性糊精饼干, 产品的 GI 值为 39.6。

3.3 米饭

米饭是中国、东亚、东南亚人民喜爱的一种主食, 研究表明, 我们日常摄入的白米饭 GI 值通常高于 80, 属于高 GI 食品, 长期摄入, 不利于糖尿病患者的血糖管理。因此, 根据原料性质开发低 GI 值米饭成为研究的热点。

刘成梅等^[37]以燕麦膳食纤维、大米蛋白和高直链玉米淀粉为添加物, 以双螺杆挤压技术为手段制备挤压重组米, 研究发现以高直链玉米淀粉作为添加物, 制备的挤压重组米 GI 值显著低于天然大米。Ryu 等^[77]在米饭中添加海带和橄榄油以降低米饭血糖生成指数, 配方为 34.8% 大米、2.8% 海带、61.9% 水和 0.5% 橄榄油, 低血糖生成指数配料的加入使米饭的血糖生成指数由 70.94 降至 52.9。李小玲等^[78]以萌动苦荞全粉、燕麦麸皮粉、燕麦全粉为原料制备高纤苦荞再造米, 经试验测得其 GI 值为 47.8, 远远低于我们日常食用白米饭。

3.4 面包

面包口感松软, 携带方便, 是一种深受消费者青睐的方便食品。但其制作通常以小麦粉为主要原料, 以白糖、油等为辅料, 具有较高的 GI 值。近些年, 随着粗细粮合理搭配食用新思路的提出, 低 GI 面包的研制同样成为食品研究的热点之一。

闫晨苗^[79]研制低 GI 马铃薯面包, 最佳配方条件为: 80 目马铃薯蒸干粉以 20% 的比例替代高筋粉制作面包, 添加菊粉 9%, 赤藓糖醇 4%, 甘蔗提取物 2%, 此时马铃薯面包体外 GI 值为 31.08。张英慧等^[80]利用海带和黑米两种原料的功能特性, 研制一种低血糖生成指数的黑米海带面包, 所研制面包的血糖生成指数为 47.4, 显著低于普通面包的 71.3。杨雯珺^[81]以 55% 高筋粉+20% 黄豆粉+15% 燕麦粉+10% 杏仁粉为原料, 研制一种 GI 值为 48 的新型低血糖生成指数杂粮杂豆面包, 适合糖尿病患者食用。

3.5 其他

除以上主食外, 雷激等^[82]、黄秋云^[83]制备了低 GI 馒头。Tawheed 等^[84]制备低 GI 米粉。陈艳

等^[85]研制的糙米蛋糕 GI 值仅为 21.3, 显著低于市售面粉蛋糕的平均值。此外, 近些年还有对休闲食品松饼^[86]、无糖苦荞沙琪玛^[87]、八宝粥^[88]等低血糖指数食品的研制。

4 展望

城市化的高速发展、不健康的饮食习惯与长期久坐的生活方式导致糖尿病的高发, 已成为影响社会公共健康的重要因素。从饮食上预防与改善糖尿病现状是有效手段, 随着人们健康意识的不断提高, 食品 GI 值概念正在被越来越多的人关注。科研工作者已在原料特性与加工方式方面做了大量的工作, 但对谷物食品 GI 值的研究仍需要从以下几方面进一步完善研究。一是食品 GI 值测定方法的标准化。体内消化与体外消化方法影响因素众多, 需要加强国际交流, 联合相关权威机构, 根据受试人体状况或可利用碳水化合物, 建立统一方法与标准; 二是继续加强相关机理的研究, 进一步明确谷物基本组分与 GI 值相关性, 探究大分子物质与淀粉、淀粉酶相互作用, 阐明谷物组分对淀粉水解与人体血糖的影响机理, 建立基本组分-加工方式-消化特性数据库, 建立谷物食品 GI 值预测模型, 指导低 GI 食品原料与加工方式的选择; 三是加强食品 GI 宣传, 推广食品 GI 标识并建立使用体系, 正确引导消费者对低 GI 食品的选购; 四是研究与开发适合糖尿病患者食用的谷物食品, 结合谷物特性与加工方式改善低 GI 食品可接受性差的问题, 制备营养、健康、美味、低 GI 食品。

参考文献:

- [1] 刘娟, 郝丹丹, 安阳, 等. 不同配方米饭血糖生成指数和血糖负荷的测评[J]. 临床医药实践, 2015, 24(6): 403-406.
LIU J, HAO D D, AN Y, et al. Measurement and evaluation of glycemic index and glycemic load of different rice samples[J]. Proceeding of Clinical Medicine, 2015, 24(6): 403-406.
- [2] JENKINS D J, WOLEVER T M, TAYLOR R H, et al. Glycemic index of foods: a physiological basis for carbohydrate exchange[J]. American Journal of Clinical Nutrition, 1981, 34: 362-366.
- [3] Carbohydrates in human nutrition. Report of a joint FAO/WHO expert consultation[J]. FAO food and nutrition paper, 1998, 66.
- [4] 范光森, 许岱, 富志磊, 等. 血糖生成指数研究进展[J]. 中国食品添加剂, 2016, (10): 56-68.

- FAN G S, XU D, FU Z L, et al. Research progress of glycemic index[J]. China Food Additives, 2016, (10): 56-68.
- [5] SALARI M A, KESHTALI A H, HAGHIGHATDOOST F, et al. Dietary glycemic index and glycemic load in relation to general obesity and central adiposity among adults[J]. Clinical Nutrition, 2019, (8): 2936-2942.
- [6] CASTRO Q I, SANCHEZ V A, ESTRUCH R, et al. A high dietary glycemic index increases total mortality in a mediterranean population at high cardiovascular risk[J]. Plos One, 2014,9(9): 1-10.
- [7] MIRRAHIMI A, DE S R J, CHIAVAROLI L, et al. Associations of glycemic index and load with coronary heart disease events: A systematic review and meta-analysis of prospective cohorts[J]. Journal of the American Heart Association, 2012, 1(5): 1-13.
- [8] SIERI S, KRIGH V, AGNOLI C, et al. Dietary glycemic index and glycemic load and risk of colorectal cancer: results from the EPIC-Italy study[J]. International Journal of Cancer, 2015, 136(12): 2923-2931.
- [9] SILVA E Y K D, CARIOCA A A F, VERDE S M M L, et al. Effect of chemotherapy on dietary glycemic index and load in patients with breast cancer and their relationships to body fat and phase angle[J]. Nutrition and Cancer, 2015, 67(4): 587-593.
- [10] HU J, LA V C, AUGUSTIN L S, et al. Glycemic index, glycemic load and cancer risk[J]. Annals of Oncology, 2013, 24(1): 245-251.
- [11] XU W H, XIANG Y B, ZHANG X L, et al. Association of dietary glycemic index and glycemic load with endometrial cancer risk among Chinese women[J]. Nutrition and Cancer An International Journal, 2015, 67(1): 89-97.
- [12] 田宝明. 低血糖指数挂面的研制及其对糖尿病大鼠糖脂代谢影响的研究[D]. 西南大学, 2015.
- TIAN B M. Development and glucolipid metabolization evaluation of fine dried noodles with low glycemic index in STZ-diabetic rats[D]. Southwest University, 2015.
- [13] ANNOR G A, MARCONE M, BERTOFT E, et al. In vitro starch digestibility and expected glycemic index of kodo millet (*paspalum scrobiculatum*) as affected by starch-protein-lipid interactions[J]. Cereal Chemistry, 2013, 90(3): 211-217.
- [14] ZENG F, MA F, KONG F, et al. Physicochemical properties and digestibility of hydrothermally treated waxy rice starch[J]. Food Chemistry, 2015, 172: 92-98.
- [15] 毕玉, 洪雁, 顾正彪, 等. 西米淀粉结构及消化特性[J]. 食品科学, 2014, (13): 70-73.
- BI Y, HONG Y, GU Z B, et al. Structure and digestion properties of sago starch[J]. Food Science, 2014, (13): 70-73.
- [16] ENGLYST H N, KINGMAN S M, CUMMINGS J H. Classification and measurement of nutritionally important starch fractions[J]. European Journal of Clinical Nutrition, 1992, 46(2): 33-50.
- [17] CHUNG H J, SHIN D H, LIM S T. In vitro starch digestibility and estimated glycemic index of chemically modified corn starches[J]. Food Research International, 2008, 41: 579-585.
- [18] 于淼, 邬应龙. 甘薯抗性淀粉对高血脂症大鼠降脂肝作用研究[J]. 食品科学, 2012, 33(1): 244-247.
- YU M, WU Y L. Hypolipidemic and liver-benefiting effect of sweet potato resistant starch in hyperlipidemic rats[J]. Food Science, 2012, 33(1): 244-247.
- [19] 尹显婷, 孙洪蕊, 刘香英, 等. 不同大豆蛋白对小麦面条加工品质和血糖生成指数的影响[J]. 食品工业科技, 2020, 41(6): 76-81+87.
- YIN X T, SUN H R, LIU X Y, et al. Effects of different soy proteins on processing quality and glycemic index of wheat noodle[J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(6): 76-81+87.
- [20] SINGH J, DARTOIS A, KAYR L. Starch digestibility in food matrix: a review[J]. Trends in Food Science & Technology, 2010, 21(4): 168-180.
- [21] YE J, HU X, LUO S, et al. Effect of endogenous proteins and lipids on starch digestibility in rice flour[J]. Food Research International, 2018, 106: 404-409.
- [22] 张慧, 洪雁, 顾正彪, 等. 3 种谷物全粉中淀粉的消化性及影响因素[J]. 食品与发酵工业, 2012, 38(11): 26-31.
- ZHANG H, HONG Y, GU Z B, et al. Starch digestibility and the influence factors in three grain flours[J]. Food and Fermentation Industries, 2012, 38(11): 26-31.
- [23] 韩小存. 低血糖指数豆类品种的筛选及其在面制品中的应用[D]. 郑州: 河南工业大学, 2013.
- HAN X C. The screening of low glycemic index of beans and application in its flour products[D]. Henan: Henan University of Technology, 2013.
- [24] WANG S, LUO H, ZHANG J, et al. Alkali-induced changes in functional properties and in vitro digestibility of wheat starch: The role of surface proteins and lipids[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2014, 62(16), 3636-3643.
- [25] BHATTARAI R R, DHITAL S, GIDLEY M J. Interactions among macronutrients in wheat flour determine their enzymic susceptibility[J]. Food Hydrocolloids, 2016, (61): 415-425.
- [26] WOLEVER, S T M. Physiological mechanisms and observed health impacts related to the glycaemic index: some observations[J]. International Journal of Obesity, 2006, 30(3): 72-78.
- [27] 崔亚楠, 张晖, 王立, 等. 蛋白质、脂肪对豆类理化特性及体外消化特性的影响[J]. 中国粮油学报, 2018, 33(2): 12-17.
- CUI Y N, ZHANG H, WANG L, et al. Physicochemical properties and in vitro starch digestibility of legumes as affected by fat and protein[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2018, 33(2): 12-17.
- [28] SRIKANLAYA C, THERDTHAI N, RITTHIRUANGDEJ P, et al. Effect of butter content and baking condition on characteristics of the gluten-free dough and bread[J]. International Journal of Food Science & Technology, 2017, 52: 1904-1913.
- [29] 潘海坤, 王淑颖, 范志红. 糯性加工食品餐后血糖及饱腹感评价[J]. 食品科学, 2016, 37(17): 225-229.
- PAN H K, WANG S Y, FAN Z H. Postprandial glycemic

- response and satiety evaluation of glutinous rice foods[J]. Food Science, 2016, 37(17): 225-229.
- [30] MOGHADDAM E, VOGT J A, WOLEVER T M S. Effects of fat and protein on glycemic responses in nondiabetic humans vary with waist circumference, Fasting Plasma Insulin, and Dietary Fiber Intake[J]. Journal of Nutrition, 2006, 136(12): 3084-3091.
- [31] 方冲. 不同添加物对挤压重组米血糖生成指数及性质的影响[D]. 南昌: 南昌大学, 2018.
- FANG C. Effects of different additives on glyceemie index and properties of extruded rice[D]. Nanchang: Nanchang Univercity, 2018.
- [32] SUN L, RANAWANA D V, LEOW K S, et al. Effect of chicken, fat and vegetable on glycaemia and insulinaemia to a white rice-based meal in healthy adults[J]. European Journal of Nutrition, 2014, 53(8): 1719-1726.
- [33] GULARTE M A, ROSELL C M. Physicochemical properties and enzymatic hydrolysis of different starches in the presence of hydrocolloids[J]. Carbohydrate Polymers, 2011, 85(1): 237-240.
- [34] KUREK M A, WYRWISZ J, KARAP S, et al. Effect of fiber sources on fatty acids profile, glycemic index, and phenolic compound content of in vitro digested fortified wheat bread[J]. Journal of Food Science & Technology Mysore, 2018, 55(5): 1632-1640.
- [35] 王娴, 周显青, 胡宏海, 等. 辅料添加对挤压复配米外观结构、蒸煮食用品质及体外血糖生成指数的影响[J]. 食品科学, 2018, 39(11): 60-68.
- WANG X, ZHOU X Q, HU H H, et al. Effect of different additives on visual appearance, microstructure, cooking and eating quality and in vitro glycemic index of extruded artificial rice[J]. Food Science, 2018, 39(11): 60-68.
- [36] BUSTOS M C, PEREZ G T, ALBERTO E L. Sensory and nutritional attributes of fibre-enriched pasta[J]. LWT-Food Science and Technology, 2011, 44(6): 0-1434.
- [37] 刘成梅, 方冲, 刘云飞, 等. 不同添加物对挤压重组米血糖生成指数和理化性质的影响[J]. 中国食品学报, 2020, 20(3): 101-107.
- LIU C M, FANG C, LIU Y F, et al. Effects of different additives on glycemic index and physicochemical properties of extruded rice[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2020, 20(3): 101-107.
- [38] REGAND A, CHOWDHURY Z, TOSH S M, et al. The molecular weight, solubility and viscosity of oat beta-glucan affect human glycemic response by modifying starch digestibility[J]. Food Chemistry, 2011, 129(2), 297-304.
- [39] TABESH F, SANEI H, JAHANGIRI M, et al. The effects of betaglucon rich oat bread on serum nitric oxide and vascular endothelial function in patients with hypercholesterolemia[J]. BioMed Reserach International, 2014, (3): 1-5.
- [40] RESHMI S K, SUDHA M L, SHASHIREKHA M N. Starch digestibility and predicted glycemic index in the bread fortified with pomelo (*Citrus maxima*) fruit segments[J]. Food Chemistry, 2017, 237: 957-965.
- [41] BORCZAK B, SIKORA E, SIKORA M, et al. Glycaemic response to frozen stored wheat rolls enriched with inulin and oat fiber[J]. Journal of Cereal Science, 2012, 56(3): 576-580.
- [42] OH I K, BAE I Y, LEE H G. In vitro starch digestion and cake quality: Impact of the ratio of soluble and insoluble dietary fiber [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2014, (63): 98-103.
- [43] 陈兵, 田宝明, 张晶, 等. 低血糖指数原料与谷朊粉复配对面团流变学特性的影响[J]. 食品科学, 2016, 37(13): 101-106.
- CHEN B, TIAN B M, ZHANG J, et al. Effect of addition of different amounts of raw materials with low glycemic index and wheat gluten on wheat dough rheological properties[J]. Food Science, 2016, 37(13): 101-106.
- [44] BERNABE A M, SRIKAE O K, SCHLUTER M. Resistant starch content, starch digestibility and the fermentation of some tropical starches in vitro[J]. Food Digestion, 2011, (2): 37-42.
- [45] MINEMOTO Y, FANG X, HAKAMATA K, et al. Oxidation of linoleic acid encapsulated with soluble soybean polysaccharide by spray-drying[J]. Bioscience Biotechnology & Biochemistry, 2002, 66(9): 1829-1834.
- [46] SRIKAE O K, THONGTA R. Effects of sugarcane, palm sugar, coconut sugar and sorbitol on starch digestibility and physicochemical properties of wheat based foods[J]. International Food Research Journal, 2015, 22(3): 923-929.
- [47] SHARMA S, BEHERA L, SWAIN P, et al. Phytic acid content may affect starch digestibility and glycemic index value of rice (*Oryza sativa* L.)[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2019, 100 (4): 1598-1607.
- [48] 张瑞. 苦荞黄酮及其降血糖活性研究[D]. 中国农业科学院, 2008.
- ZHANG R. Study on tartary buckwheat flavonoids and its antidiabetes activity[D]. Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2008.
- [49] SANDHU K, SACHDEVA R. Efficacy of chromium supplementation and nutrition counseling on glycemic index and lipid profile in male NIDDM patients[J]. Journal of Human Ecology, 2011, 35(3): 181-187.
- [50] OH H M, YOON J S. Glycemic control of type 2 diabetic patients after short-term zinc supplementation[J]. Nutrition Research and Practice, 2008, 2(4): 283-288.
- [51] TIAN J, CHEN S, CHEN J, et al. Cooking methods altered the micro-structure and digestibility of the potato[J]. Starch Starke, 2017, (70): 5-6.
- [52] OVANDO M M, OSORIO D P, WHITNEY K, et al. Effect of the cooking on physicochemical and starch digestibility properties of two varieties of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) grown under different water regimes[J]. Food Chemistry. 2011, 129(2): 358-365.
- [53] 崔亚楠, 张晖, 王立. 加工方式对谷物和豆类估计血糖生成

- 指数的影响[J]. 食品与机械, 2017, 33(9): 1-4.
- CUI Y N, ZHANG H, WANG L. The effects of different processing methods on expected glycemic index of cereals and legumes[J]. Food and Machinery, 2017, 33(9): 1-4.
- [54] PARCHURE A A, KULKARNI P R. Effect of food processing treatments on generation of resistant starch[J]. International Journal of Food Sciences & Nutrition, 1997, 48(4): 257-260.
- [55] MANGALA S L, MALLESHI N G, THARANATHAN R N, et al. Resistant starch from differently processed rice and ragi (finger millet)[J]. European Food Research & Technology, 1999, 209(1): 32-37.
- [56] SZCZODRAK J, POMERANZ Y. Starch and enzyme-resistant starch from high-amylose barley[J]. Cereal Chemistry, 1991, 63(6): 589-596.
- [57] JACKSON L S, JABLONSKI J, BULLERMAN L B, et al. Reduction of fumonisin B in corn grits by twin-screw extrusion[J]. Journal of Food Science, 2011, (6): 1-6.
- [58] DUSHKOVA M A, MENKOV N D, TOSHKOV N G. Functional characteristics of extruded blends of potato flakes and whey protein isolate[J]. International Journal of Food Engineering, 2012, 7(6): 639-646.
- [59] BOUASLA A, AGNIESZKA W, ZIDOUNE M N. Gluten-free precooked rice pasta enriched with legumes flours: physical properties, texture, sensory attributes and microstructure[J]. LWT-Food Science & Technology, 2017, (75): 569-577.
- [60] PERERA A, MEDA V, TYLER R T. Resistant starch: A review of analytical protocols for determining resistant starch and of factors affecting the resistant starch content of foods[J]. Food Research International, 2010, 43(8): 1959-1974.
- [61] 冯进, 丁秋霞, 柴智, 等. 杂粮膨化营养粉制备工艺优化及其消化特性研究[J]. 江苏农业科学, 2020, 48(11): 217-223.
- FENG J, DING Q X, CHAI Z, et al. Optimization of preparation technology of nutritional extrusion powder of coarse cereals and its digestive properties[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2020, 48(11): 217-223.
- [62] ZOU J, XU M, WEN L, et al. Structure and physicochemical properties of native starch and resistant starch in Chinese yam (*Dioscorea opposita* Thunb.)[J]. Carbohydrate Polymers, 2020, (237): 1-10.
- [63] 韩玲玉. 多谷物共挤压加工对其物化及消化特性影响研究[D]. 东北农业大学, 2019.
- HAN L Y. Study on physico-chemical and in vitro digestive properties of multigrain co-extrusion[D]. Northeast Agricultural University, 2019.
- [64] 赵志浩, 刘磊, 张名位, 等. 预酶解-挤压膨化对全谷物糙米粉品质特性的影响[J]. 食品科学, 2019, 40(1): 108-116.
- ZHAO Z H, LIU L, ZHENG G W, et al. Combined effect of enzymatic pretreatment and extrusion on quality properties of brown rice flour[J]. Food Science, 2019, 40(1): 108-116.
- [65] ALLEN J C, CORBBIT A D, MALONEY K P, et al. Glycemic index of sweet potato as affected by cooking methods[J]. The Open Nutrition Journal, 2012, 6(1): 1-11.
- [66] BOSNIANS G M, LAGRAIN B, FIERENS E, et al. The impact of baking time and bread storage temperature on bread crumb properties[J]. Food Chemistry, 2013, 141(4): 3301-3308.
- [67] BAHADO S P S, RILEY C K, WHEATLEY A O, et al. Relationship between processing method and the glycemic indices of ten sweet potato (*ipomoea batatas*) cultivars commonly consumed in Jamaica[J]. Journal of Nutrition Metabolism, 2011, (2011): 1-6.
- [68] ODENIGBO A, RAHIMI J, NGADI M, et al. Starch digestibility and predicted glycemic index of fried sweet potato cultivars[J]. Functional Foods in Health & Disease, 2012, 2(7): 1-8.
- [69] FERNANDES G, VELANGI A, WOLEVER T M S. Glycemic index of potatoes commonly consumed in North America[J]. Journal of the American Dietetic Association, 2005, 105(4): 557-562.
- [70] GARCIA A A, GONI I. Effect of processing on potato starch: in vitro availability and glycaemic index [J]. Starch Stärke, 2000, 52(3): 81-84.
- [71] PRIYANKA B, SUDESH J. Development of low glycemic index noodles by legume and cereal by-products incorporation[J]. 2015, 5(5): 381-387.
- [72] SUK W, KIM J E, KIM D Y, et al. Effect of wheat flour noodles with bombyx mori powder on glycemic response in healthy subjects[J]. Preventive Nutrition & Food Science, 2016, 21(3): 165-170.
- [73] 李勇, 周文化, 李彦, 等. 板栗鲜湿面体外淀粉消化特性研究[J]. 食品科技, 2019, 44(10): 165-169.
- LI Y, ZHOU W H, LI Y, et al. In vitro starch digestion properties of chestnut powder on fresh noodles[J]. Food Science and Technology, 2019, 44(10): 165-169.
- [74] JARIYAH, SUSILONINGSIH E K B, NILAASRI K. Glycemic index biscuits formulation of Pedada flour (*sonneratia caseolaris*) with tubers starch[J]. Journal of Physics Conference Series, 2018, 953: 1-6.
- [75] GBENGA F F, OLADELE E, OBOH G, et al. Nutritional properties, sensory qualities and glycemic response of biscuits produced from pigeon pea-wheat composite flour. J Food Biochem. 2018; e12505. <https://doi.org/10.1111/jfbc.12505>.
- [76] 彭辉, 刘绍, 黄染林, 等. 抗性糊精饼干的研制及其血糖生成指数测定[J]. 食品安全质量检测学报, 2020, 11(21): 7821-7828.
- PENG H, LIU S, HUANG R L, et al. Development and determination of glycemic index value of a resistant dextrin biscuit[J]. Journal of Food Safety & Quality, 2020, 11(21): 7821-7828.
- [77] RYU H S, ZENG J. Determining the optimal recipe for long-grain jasmine rice with sea tangle laminaria japonica, and its effect on the glycemic index[J]. Fisheries and Aquatic Sciences, 2014, 17(1): 47-57.
- [78] 李小玲, 张文青, 卫姝岑, 等. 燕麦荞麦加工食品血糖生成指数与血糖负荷的测定[J]. 临床医药实践, 2017, 26(4):

- 249-252.
- LI X L, ZHANG W Q, WEI S C, et al. Measurement of glycemic index and glycemic load for oats and buckwheat processed foods[J]. *Proceeding of Clinical Medicine*, 2017, 26(4): 249-252.
- [79] 闫晨苗. 低 GI 马铃薯面包工艺的研究及品质分析[D]. 河北工程大学, 2020.
- YAN M C. Study on technology and quality of low GI potato bread[D]. Hebei University of Engineering, 2020.
- [80] 张英慧, 黄仙寿, 黄剑波, 等. 一种低血糖生成指数面包的研究[A]. 中国营养学会. 中国老龄化与健康高峰论坛论文集汇编[C]. 中国营养学会, 2014:2.
- ZHANG Y H, HUANG S X, HUANG J B, et al. Study on a low glycemic index bread[A]. Chinese Nutrition Society. *Compilation of papers of China Aging and Health Summit Forum*[C]. Chinese Nutrition Society, 2014:2.
- [81] 杨雯珺. 低 GI 杂粮杂豆面包的研制及其品质特性研究[D]. 河北经贸大学, 2020.
- YANG W J. Study on preparation of low GI miscellaneous bean bread and its quality characteristics[D]. Hebei University of Economics and Business, 2020.
- [82] 雷激, 赖朋, 李玉锋, 等. 含有荞麦粉、莜麦粉的低 GI 馒头及其制备方法[P]. 四川省: CN111772095A, 2020-10-16.
- LEI J, LAI P, LI Y F, et al. Low GI steamed bread containing buckwheat flour and naked oats flour and preparation method[P]. Sichuan: CN111772095A, 2020-10-16.
- [83] 黄秋云. 低 GI 馒头的制作方法和低 GI 馒头[P]. 福建省: CN110973479A, 2020-04-10.
- HUANG Q Y. Making method of low GI steamed bread and low GI steamed bread[P]. Fujian: CN110973479A, 2020-04-10.
- [84] TAWHEED A, NAIK H R, SYED Z H, et al. Invitro digestion, physicochemical and morphological properties of low glycemic index rice flour prepared through enzymatic hydrolysis[J]. *International Journal of Food Properties*, 2018, 21(1): 2632-2645.
- [85] 陈艳, 龚莎娜, 吴跃. 糙米蛋糕血糖生成指数变化研究[J]. *食品研究与发*, 2020, 41(11): 160-164.
- CHEN Y, GONG S N, WU Y. Change of blood glucose index of brown rice cake[J]. *Food Research and Development*, 2020, 41(11): 160-164.
- [86] HUSSAIN S Z, BEIGH M A, QADRI T, et al. Development of low glycemic index muffins using water chestnut and barley flour. *Journal of Food Processing and Preservation*. 2019, e14049. <https://doi.org/10.1111/jfpp.14049>.
- [87] 薛红梅, 刘玉美, 刘晓松, 等. 无糖苦荞沙琪玛的工艺研究及血糖生成指数评价[J]. *粮食加工*, 2018, 43(1): 65-69.
- XUE H M, LI Y M, LIU X S, et al. Study on technology and evaluation of glycaemic index of unsweetened tartary buckwheat sachima[J]. *Grain Processing*, 2018, 43(1): 65-69.
- [88] 舒志成, 王华, 郭秀峰, 等. 一种具有低血糖生成指数(GI 值)特点的八宝粥研制[J]. *中国食品添加剂*, 2016, (1): 127-132.
- SHU Z C, WANG H, GUO X F, et al. The development of a babao congee with low glycemic index(GI)[J]. *China Food Additives*, 2016, (1): 127-132. 