

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2023.06.006

周宇, 童冠群, 杨可, 等. 抗性淀粉在老年食品中的应用研究进展[J]. 粮油食品科技, 2023, 31(6): 43-50.

ZHOU Y, TONG G Q, YANG K, et al. Research progress on the application of resistant starch in elderly food[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2023, 31(6): 43-50.

抗性淀粉在老年食品中的应用研究进展

周宇¹, 童冠群¹, 杨可¹, 严尧¹, 张宇坤¹, 刘文梦¹, 陈龙^{1,2}✉

(1. 江南大学 食品学院, 江苏 无锡 214122;

2. 江南大学 食品科学与技术国家重点实验室, 江苏 无锡 214122)

摘要: 随着人口老龄化的日益加剧, 老年人慢性疾病发生率逐渐提高, 而这些与日常膳食密切相关。抗性淀粉 (resistant starch, RS) 是一种新型的膳食纤维, 因其独特的物化性质和生理功能, 成为近年来食品科学研究的热点。抗性淀粉在人体消化道内不被消化酶水解而到达结肠, 具有多种益处, 用于功能性产品的开发, 与微胶囊等技术结合包埋营养物质, 发挥多种生理功能, 预防各种疾病的发生。因此, 本文主要聚焦于抗性淀粉在老年食品中的应用研究进展进行综述, 首先综述了老年食品的特点, 围绕老年食品的特点阐述了 RS 与人体健康的关系, 基于 RS 优点和特性总结 RS 在老年食品中的应用, 如直接作为功能性原料、制作重组米、面制品、乳饮料等, 或作为主要原料借助不同手段, 包括: 微胶囊法、皮克林乳液和纳米颗粒法对 RS 进行处理, 在老年人体内构建特殊的营养素递送体系, 以期设计开发老年食品提供思路同时为特殊人群提供膳食选择。

关键词: 老年食品; 抗性淀粉; 应用; 营养素递送体系

中图分类号: TS201.4 文献标识码: A 文章编号: 1007-7561(2023)06-0043-08

Research Progress on the Application of Resistant Starch in Elderly Food

ZHOU Yu¹, TONG Guan-quan¹, YANG Ke¹, YAN Yao¹, ZHANG Yu-kun¹,
LIU Wen-meng¹, CHEN Long^{1,2}✉

(1. School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi, Jiangsu 214122, China;

2. State Key Laboratory of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi, Jiangsu 214122, China)

Abstract: With the aging of the population, the incidence of chronic diseases in the elderly is also increasing, which is closely related to daily diet. Resistant starch (RS) is a new type of dietary fiber, which has become the focus of food science research in recent years because of its unique physical and chemical properties and physiological functions. Resistant starch can reach the colon without being hydrolyzed by digestive enzymes

收稿日期: 2023-05-17

基金项目: 江苏省基础研究计划 (自然科学基金) 青年基金项目 (BK20200617); 国家自然科学基金青年科学基金项目 (32101990); 国家重点研发计划子课题 (2022YFF1100103)

Supported by: Youth Foundation of Jiangsu Basic Research Program (Natural Science Foundation) (No. BK20200617); National Natural Science Foundation of China (No. 32101990); National Key Research and Development Project of China (No. 2022YFF1100103)

作者简介: 周宇, 男, 2003 年出生, 在读本科生, 研究方向为抗性淀粉的开发与应用。E-mail: 3190738125@qq.com

通讯作者: 陈龙, 男, 1988 年出生, 博士, 副研究员, 研究方向为淀粉结构与功能关系。E-mail: longchen@jiangnan.edu.cn

in human digestive tract, which has many benefits. It can be used for the development of functional products, and can also be combined with technologies such as microcapsules to embed nutrients. At the same time, it can play a variety of physiological functions and prevent various diseases. Therefore, this review mainly focuses on the research progress in the application of resistant starch in elderly foods. Firstly, the characteristics of elderly foods are summarized, and then the relationship between RS and human health is further discussed around the characteristics of these elderly foods. Then, based on the advantages and characteristics of RS, it summarizes the application of RS in food for the elderly, such as directly as functional raw materials, making reconstituted rice, flour products, milk drinks, etc., or as main raw materials through different means, including: microcapsule method, Pickering emulsion method and nanoparticle method, are summarized, so as to construct a special nutrient delivery system in the elderly, in order to provide ideas for the design and development of elderly foods and provide some reference for the elderly.

Key words: elderly food; resistant starch; application; nutrient delivery system

老龄化是当今社会人口发展的必然趋势^[1]。老年人在总人口中所占的比重正在逐渐增大,老年食品市场在这一浪潮中有着很大的发展潜力,但当前的市场并不能满足未来老龄化人口激增的需求^[2]。例如:某些老年人身体机能的自然衰弱,特别是饮食机能的衰弱,很容易造成老年人的咀嚼及吞咽机能失调。饮食不合理是影响老年人身体健康的重要因素之一^[3]。此外,我国市场上老年人食品的种类在营养、配方和口感上也不能满足老年人的需求^[4]。一定比例的抗性淀粉(resistant starch, RS)添加进食物中可改变食物物质构特性^[5](硬度和咀嚼性),加入适量RS的食物符合中等血糖生成指数(GI)食品标准,可满足老年人的咀嚼和营养需

求,所以,可将抗性淀粉创新性融入老年食品。

抗性淀粉是指不能被正常肠道消化吸收的淀粉和其一些降解产物。是一种不溶于水的膳食纤维,在各种含淀粉的食物中都有发现^[6]。抗性淀粉的形状及结构由多种因素共同决定。大部分学者按照淀粉的来源和抗酶解性的差异,将抗性淀粉划分为5类:RS1、RS2、RS3、RS4、RS5^[7-9](详见参考表1)。当前,市场上将抗性淀粉用于老年人食品中的例子很少,缺乏足够的研究和应用,所以,本文将从抗性淀粉的生理效应出发,对其在老年人食品加工中的应用进行论述,希望能为今后老年人食品的研究开发提供一定的理论基础和创新思路。

表 1 抗性淀粉的分类和老年食品的结合思路^[7-9]

Table 1 Classification of resistant starch and combination of elderly food ideas^[7-9]

类型	定义	来源	小肠内消化评定	老年食品的相关思路
RS1	淀粉酶无法接近的抗性淀粉。	完整或轻度碾磨的谷物、豆类等。	消化速率慢,仅部分消化吸收。	无。
RS2	天然具有抗消化性的抗性淀粉。	未加工的马铃薯、豌豆和绿香蕉等。	与普通淀粉相比消化速率慢。	天然食品。
RS3	凝沉的淀粉聚合物,主要由糊化淀粉回生后形成。	冷米饭、冷面包、油炸土豆片等。	不消化。	对改善食品质量有一定的作用。能在老年食品中为主要原料合成功能性食品。
RS4	基因改造或化学改性的抗性淀粉。	交联、热变性和磷酸化淀粉。	不消化。	有助于减缓高血糖问题,解决当下老年人的生理需求,可用作营养补充剂。
RS5	直链淀粉脂质复合物。	含淀粉和脂质的谷物等食品中。	消化速率慢,部分被消化。	益生元。指数高为13.08,能提高新一代老年食品的营养价值。

1 当代老年食品的特点

老年人的食品需要可以被分成两类：口腔感受有关的食品需要和年龄增长引起的生理改变有关的需要，详细如图 1 所示^[10]。饮食作为老年人保持健康的基础，对于预防和治疗疾病尤为重要。



图 1 老年人健康食品设计中要考虑的主要方面^[10]

Fig.1 Main aspects to consider in the design of healthy food for the elderly^[10]

根据老年人群的营养需要特征^[11]，老年食品需有如下要点：

1.1 “四足四低”

人类在过了 50 岁之后，机体逐渐出现某些衰退现象，各种组织细胞的合成代谢下降，新陈代谢缓慢，因此对于老年人食品的标准应符合“四足四低”的要求，即足够的蛋白质、足够的食物纤维、足量的维生素、足量的矿物质和低热量、低脂肪、低胆固醇、低钠。

1.2 健康风味，营养充足

在对老年人的食品进行开发时，应采用清淡型、风味型和药效性保健型三种口味。老年食品的原材料配方以豆类、奶类为主，辅以适量的维生素。在制作老年食品时，应选择合适的原材料，最大限度地降低营养物质的损耗，并将各种颜色、香味和味道混合在一起。而抗性淀粉因其在结肠中不被消化，可与微胶囊等技术结合对营养素进行包埋，作为老年食品的原材料，减少营养物质的损耗，满足老年人的营养需求。

1.3 食物质构“易咀嚼，易吞咽”

针对老年人饮食中存在的两大障碍（咀嚼和

吞咽障碍），通常可以从以下两个角度来对老年食物的质构进行调节：1）将固体食物的咀嚼难度降低，使咀嚼障碍病人只需要很少的咀嚼就可以完成吞咽；2）放慢流质食物的流速，让吞咽困难的病人有充分的时间来调整吞咽肌的收缩，从而及时的堵住自己的呼吸，打开自己的食道，避免被呛到。已经有研究显示，RS 可以满足人们获取含有丰富纤维的食品需求^[12]，并且适量的 RS 可以改变食物的质构^[5]，可通过在不易咀嚼和吞咽的食物中添加 RS 的方法，解决该方面的老年人饮食障碍。

1.4 特殊膳食

随着年龄的增长，人体的消化吸收能力、免疫力和基础代谢都会降低，同时还会出现心脑血管、肝肾功能下降等情况，所以老年人更容易出现高血压、糖尿病、心脑血管病和中风等疾病。抗性淀粉可通过调节肠道菌群和肠道内短链脂肪酸含量发挥益生元作用^[13]，调节代谢，同时抗性淀粉能调节血糖，可实现糖尿病的饮食干预^[14]。抗性淀粉作为特殊膳食应用进老年食品，有着良好的前景。

2 抗性淀粉对老年人的有利生理影响

2.1 抗性淀粉对血糖调节的影响

糖尿病已逐渐成为全球的流行性疾病，其目前高发于中老年人，老年人群体容易出现胰岛素抵抗和胰岛素分泌不足等问题，导致 2 型糖尿病（T2DM）的高发。研究表明 RS 可提高胰岛素敏感性，改善胰岛素抵抗^[15]。从而从机理上缓解了 2 型糖尿病的发生。且目前 2 型糖尿病病人主要依靠药物来控制病情，但药物的使用存在一定的毒副作用，部分药物的使用也增加了病人的经济负担。所以，在糖尿病的自然病程中，饮食干预是一项重要的防治措施^[14]。发展控制餐后血糖水平的便捷加工食品就显得十分重要^[16]。生玉米淀粉具有较高含量的 RS，其可以作为添加成分作用来供给糖尿病人食用的功能性零食，如含生玉米淀粉的巧克力棒，这类零食被称为糖尿病人的夜宵零食，能够防止夜间或剧烈运动后的低血糖症状的出现。对此我们可以利用 RS 制作一些特殊食品

来进行饮食干预, 受益中老年糖尿病患者, 减少药物治疗对于高龄人的相对较大的副作用。

RS 能够明显地降低食品的 GI 值^[17], 食用后发生的血糖反应比较温和, 而且 RS 不会被消化, 会形成“第二餐效应”^[18], 可帮助老人保持正常的饭后血糖浓度。Alexandra Jenkins^[19]等通过对健康受试者进行禁食过夜后分别食用添加了 RS4 的小麦饼干和对照饼干, 发现两组人员胃肠道症状没有显著差异, 食欲评分也没有显著差异, 但显著降低健康受试者的血糖和胰岛素水平。结果表明, RS4 能有助于减缓高血糖问题, 解决当下老年人的生理需求。

2.2 调节肠胃环境

抗性淀粉被定义为一种膳食纤维^[20], 与膳食纤维相比, RS 与其部分作用相同, 具有预防便秘、肠炎及大肠直肠癌的作用。研究表明 RS 比膳食纤维表现出更好的营养特性^[21]。随着年龄的增长, 胃肠道的生理功能也会随之下降^[22], 同时衰老的过程会伴随着虚弱, 认知能力下降, 慢性病发病率增加以及一些生活方式的改变, 如饮食质

量下降, 体力活动减少, 药物和手术增加。这些调节的改变(图 2^[23])会使老年人更容易患上与年龄相关的慢性疾病和紊乱, 导致健康状况日益下降的双向恶性循环。RS 可在大肠中被细菌发酵分解生成短链脂肪酸(SCFA), 能降低大肠内 pH, 减少结肠癌发病率, 抑制致病菌的生长、繁殖, 同时可促进肠道益生菌的生长^[24]; 研究发现抗性淀粉不含植酸, 与膳食纤维相比, 更有利于对矿物质和微量元素的吸收^[25]。

RS 对于肠胃环境的调节作用为老年人的肠胃治疗提供新的思路。Michelle J. Alfa^[26]等通过让老年人 3 个月内每天食用一种抗性淀粉组合物并测定老年人肠胃中的微生物组成以及粪便中的短链脂肪酸含量, 发现 RS 可以调节肠道微生物组(增加双歧杆菌, 并改变厚壁菌与细菌的比例), 同时 RS 的摄入量使老年人丁酸盐具有统计学意义的增加, 这些现象一定程度上反应了 RS 对于老年人肠道微生物环境的有益调节, 支持 RS 作为营养补充剂, 可以有益于老年人和中年的肠道健康。

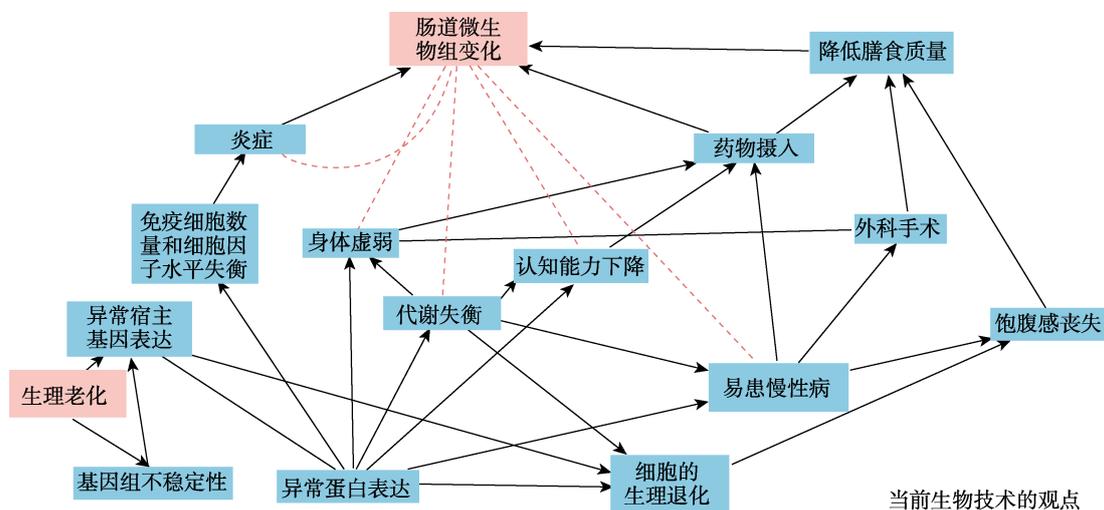


图 2 衰老伴随的生理调节^[23]

Fig.2 Physiological regulation accompanying aging^[23]

2.3 与脂质代谢的关系

作为老年人常见的慢性疾病之一, 高血脂的控制是老年食品设计中重要的环节。RS 可通过降胆固醇作用预防各类心血管疾病, 调节脂质代谢。常青^[27]等通过采用高脂饲料诱导 SD 大鼠形成高脂血症动物模型, 用灌胃方式, 研究 3 种生

姜抗性淀粉对高脂血症大鼠生理指标的影响, 发现 RS 能通过降低血清中的游离型初级胆酸和脱氧型次级胆酸含量来改善高脂血症大鼠的血脂代谢。有研究^[28]通过对 55 周龄雄性特定大鼠喂食对照饮食(55% α 玉米淀粉)或 RS 饮食(5%RS)进行 4 周试验, 发现 RS 饮食可导致大鼠肠道系

膜脂肪变小, 并降低肠道整合素 (CD11c) 表达。抗性淀粉对于改善大鼠高脂血症的血脂代谢起到了显著的缓解作用。由此假设推断, 抗性淀粉作为一种天然的食物成分, 是否也可以被运用于调节老年人的脂质代谢, 缓解其高血脂问题。对于此, 需要更多相关实验研究以准确证实。但不妨可以在未来老年食品中加入适当 RS, 以促进健康饮食。

3 抗性淀粉在老年食品中的应用

3.1 抗性淀粉直接作为功能性原料

根据全国老龄工作委员会办公室、中国营养学会在 2022 年 11 月 21 日发布的新版《中国老年人膳食指南》, 本部分主要讨论抗性淀粉材料在主食、面制品、乳饮等方面的应用。

3.1.1 用抗性淀粉制作重组米

抗性淀粉可以直接作为功能性原料通过挤压成型的方法制造重组米。挤压重组米是将混合均匀的材料在高温高压下从模孔中挤出, 使其形成与米粒相似形状的挤压产品。挤压重组米的 RS 含量较高, 张阳^[29]等通过对市售粳米、籼米、挤压空白米以及挤压重组米进行体外消化试验, 发现挤压重组米的 RS 含量高于其它种类, 淀粉水解率上升缓慢, 葡萄糖释放速率慢, 且 GI 值低, 属于低 GI 食品, 可以帮助老年人解决由于饮食结构不平衡、不科学导致的如糖尿病等慢性疾病。但是目前挤压重组米在食用品质上与普通大米还存在一定差距, 如口感差或者在蒸煮熟后, 大米由于吸收水分过度膨胀, 导致米粒不成形或粘在一起的问题。因此在挤压和重组米的过程中需要添加一定数量的改良剂来改变产品的质量, 使其更容易被老年人所接受。同时, 根据老年人的生理需求, 可选择相应的食材与抗性淀粉组合, 不仅可以实现重组米和天然大米具有相似的外观、口感和烹饪特点, 也可以比天然大米具有更高的营养价值和功能特性。

3.1.2 抗性淀粉应用于面制品主食

利用抗性淀粉可以生产出适合老人食用的面制品。在中老年人的日常膳食中, 面制品是最主要的一种碳水化合物, 也是身体进行糖代谢所必需的能量。面制品通常采用烹饪、油炸、烘焙和冷却等加工和食用方法, 研究其在不同加工和贮

藏方法中的抗性淀粉的含量, 对人们的饮食习惯有一定的影响, 有实际的指导意义。用部分抗性淀粉取代精制面粉制作面包, 可提高食物中的膳食纤维含量^[30]。用 RS 取代普通天然淀粉, 制成面制品不会影响制品的感官品质, 有利于降低咀嚼度, 增加饱腹感^[31]。朱哲^[32]等研究结果表明, 随着抗性淀粉含量的提高, 可以有效地减少面条的烹饪吸水率与蒸煮时间; 在面条中添加 5% 的抗性淀粉, 可以降低面条的粘弹性^[33], 对减少老年人的咀嚼次数, 提高他们的饱腹感, 降低他们体内的可消化碳水化合物有利。除此之外, 将冷冻面团及保鲜馒头和抗性淀粉相结合, 不仅可以保证保鲜馒头的质量, 还可以达到保健功能^[34]。

3.1.3 抗性淀粉应用于乳饮品

将抗性淀粉添加到酸奶中, 可以使酸奶的营养价值得到进一步的提升, 并增强其保健作用。RS 是双歧杆菌、乳酸杆菌等益生菌繁殖的合适底物, 含抗性淀粉的酸奶中乳酸杆菌的数量明显高于对照组, 并且进入人体后菌体的存活率显著提高^[35]。吴为成等^[36]研发了高抗性淀粉含量谷物饮料, 将藜麦乳液均质后灭菌、包装, 得到高抗性淀粉含量的藜麦谷物饮料, 提高了藜麦淀粉的抗性淀粉含量, 降低了藜麦淀粉的消化速率, 有利于老年人有糖耐量缺陷或患有糖尿病群体的血糖管理。王学勇等^[37]研发出一种以抗性淀粉为主要原料的饮料, 具有调节脂质和糖代谢、明显降血糖、降血脂、减肥及调节菌群功能的效果, 是一种可以治疗老年人高血脂、糖尿病等疾病的功能性复合膳食纤维固体饮料。添加抗性淀粉的酸奶可有效调节老年人的脂代谢以及肠道微生物, 为老年食品的开发提供新思路。

3.2 以抗性淀粉作为主要原料构建营养素递送体系

基于当下营养素多存在溶解性不好、稳定性差和生物利用度低等缺点, 抗性淀粉也可以作为主要原料构建营养素递送体系, 以保持营养素在加工、贮藏及摄入体内后的稳定性, 以保护其在靶向位点发挥作用。因此, 本部分主要介绍利用抗性淀粉结合相应技术实现营养素在老年人体内的精准递送。

3.2.1 微胶囊技术

制备具有抗性淀粉性质的微囊一般方法有喷雾干燥法^[38]、乳化交联法^[39]、挤压法^[40]等。Homayouni^[41]等将 RS 与乳化剂、保护剂等配伍,进行包埋结合,通过喷雾冷冻干燥法制备的肠道益生菌微胶囊,提高了益生菌的存活率,为益生菌的定点释放提供了保存基础。前期研究发现,以莲子抗性淀粉为基础制胶囊可对益生元有一定的促进作用^[42]。挤压方法具有操作简便、条件温和等优点,它适用于对热敏性物质的包裹,通常被用来包裹益生菌,特别是乳酸菌。Mariana de Araújo Etchepare^[43]等通过将海藻酸钠和抗性淀粉这两种壁材以同样的比例进行混合,再将它们包埋在嗜酸乳杆菌中,采用挤压法将它们滴入 CaCl₂ 溶液中进行固化后,再将它们应用到盐白奶酪中,结果发现,在这种情况下,液滴马上就会形成凝胶球,抗性淀粉基微囊化处理可以明显地提高储存期间的菌体存活率。以抗性淀粉为原料制作抗性淀粉基微胶囊包埋益生菌可有效保存和利用益生元成分,和老年食品相结合能改善中老年人的肠道环境。

3.2.2 纳米淀粉-皮克林乳液

将抗性淀粉引入到皮克林乳液中,既可实现对营养物质的有效包裹,又可为低脂食品的创新设计提供新思路。皮克林(Pickering)乳液因其高粘度及其良好的界面性能、长时间稳定等优点,可用作构建多种孔隙结构的模板^[44]。除了皮克林乳化技术外,还可以利用纳米淀粉,稳定皮克林乳液获得功能优良的皮克林乳液稳定剂。纳米淀粉因其特有的“纳米效应”及良好的生物相容性,能在油-水界面上形成“物理缓冲区”,展现出良好的生物适应性。在乳状液的生产、储存过程中,由于脂肪的氧化而引起的腐败现象,对食物的外观、味道等都有很大的影响。而皮克林乳液中的淀粉颗粒在氧化层形成了一道坚固的物理屏障并消除自由基,从而极大地增强油脂的抗氧化性能^[45],延长皮克林乳液的保质期,实现对老年人肠道内营养物质的精准控释,加速营养物质的输送。

4 结语

健康老龄化已成为全球关注的热点问题,而

食物的功能性作用是最基础的健康需求。本文以 RS 优点和特性的探究为基础,阐述了 RS 作为功能性成分的研究进展及其借助微胶囊法、皮克林乳液和纳米颗粒法对 RS 进行处理,在老年人体内构建特殊的营养素递送体系,以期为老年食品的研发提供新的思路。然而,RS 针对于特定人群老年人体内的生理影响的机理仍需有进一步的揭露与完善,新的抗性淀粉营养素递送体系仍需进一步的研究开发。在我国现阶段和将来,应该以我国老年人的膳食结构和饮食习惯为依据,在确保其营养需要和感官风味的前提下,有针对性地扩大产品种类,提高产品质量。可将抗性淀粉与膳食饮食相结合,在开发出新型功能性食品的同时,创新性开发出更多的抗性淀粉营养素递送体系,未来可能的老年食品开发热点方向:

1) 采用可视化示踪法,明确抗性淀粉在老年人群中的吸收、释放规律,并从分子水平上探讨抗性淀粉在老年人群中的蓄积与运输机理,为研发针对老年人群精准营养的功能性保健食品及新型老年食品奠定实验与理论基础。

2) 以抗性淀粉为载体,构建多种载体系统,以克服载体材料在体内应用中存在的“瓶颈”问题,实现对载体中营养物质的有效抵抗,充分发挥其生物活性,提升载体材料的吸收效率。同时,借助抗性淀粉在结肠中的响应性释放特性,实现对营养物质的靶向输送。

3) 在此基础上,利用代谢组、蛋白组、肠道菌群等多个组学数据,综合评价食品对不同年龄阶段的老年人的影响,从而达到对老年人进行精准营养调控的目的。

参考文献:

- [1] 何耀. 我国的人口老龄化与健康老龄化策略[J]. 中国慢性病预防与控制, 2012, 20(5): 507-509.
HE Y. Population aging and healthy aging strategies in China [J]. China Chronic Disease Prevention and Control, 2012, 20(5): 507-509.
- [2] 李双娇, 赵静, 肖蓉. 酶在植物源性老年食品加工中的应用研究进展[J]. 食品科学, 2019, 40(21): 350-356.
LI S J, ZHAO J, XIAO R. Research progress on the application of enzymes in the processing of plant-based elderly food[J]. Food science, 2019, 40 (21): 350-356.

- [3] 姜辉, 刘丽梅. 老年人气道保护功能的研究进展[J]. 华南国防医学杂志, 2017, 31(8): 566-568.
 JIANG H, LIU L M. Research progress on airway protection function in the elderly[J]. South China Journal of National Defense Medicine, 2017, 31(8): 566-568.
- [4] 吴婕, 郝娟, 马永轩, 等. 老年营养与老年食品开发[J]. 农产品加工, 2020(14): 58-62.
 WU J, HAO J, MA Y X, et al. Elderly nutrition and elderly food development[J]. Agricultural Product Processing, 2020 (14): 58-62.
- [5] 高慧颖, 王琦, 赖呈纯, 等. 添加抗性淀粉对饼干质构特性和体外血糖生成指数的影响[J]. 福建农业科技, 2019, 350(10): 27-30.
 GAO H Y, WANG Q, LAI C C, et al. The effect of adding resistant starch on the texture characteristics and in vitro blood glucose production index of biscuits[J]. Fujian Agricultural Science and Technology, 2019, 350(10): 27-30.
- [6] 宿玲恰, 吴敬. 淀粉基未来食品及其制备方法研究进展[J]. 食品与生物技术学报, 2021, 40(12): 5-16.
 SU L Q, WU J. Research progress on starch based future foods and their preparation methods[J]. Journal of Food and Biotechnology, 2021, 40 (12): 5-16.
- [7] 张婧婷. 抗性淀粉的类型及其制备技术研究进展[J]. 现代面粉工业, 2021, 35(6): 26-33.
 ZHANG J T. Research progress on the types and preparation techniques of resistant starch[J]. Modern Flour Industry, 2021, 35 (6): 26-33.
- [8] 张雅琦, 阮长青, 张东杰, 等. 抗性淀粉的分析方法研究进展[J]. 中国粮油学报, 2023, 38(3): 188-195.
 ZHANG Y Q, RUAN C Q, ZHANG D J, et al. Research progress on analytical methods for resistant starch[J]. Chinese Journal of Cereals and Oils, 2023, 38(3): 188-195.
- [9] 吴建平. 抗消化淀粉的研究进展及其应用前景[J]. 食品与发酵工业, 1999(2): 68-72.
 WU J P. Research progress and application prospects of indigestible starch[J]. Food and Fermentation Industry, 1999 (2): 68-72.
- [10] Texture-modified foods for the elderly: Status, technology and opportunities[J]. Trends in Food Science & Technology, 2016, 57: 156-164.
- [11] 吴阳. 中老年冲调米粉的加工工艺及配方研究[D]. 哈尔滨商业大学, 2016.
 WU Y. Study on the processing technology and formula of Rice noodles for the middle-aged and elderly[D]. Harbin University of Commerce, 2016
- [12] ARP C G, CORREA M J, FERRERO C. Resistant starches: A smart alternative for the development of functional bread and other starch-based foods[J]. Food Hydrocolloids, 2021, 121: 106949.
- [13] 崔琳琳, 姜玥, 周一鸣, 等. 苦荞抗性淀粉体外益生元的作用[J]. 食品工业, 2019, 40(8): 205-210.
 CUI L L, JIANG Y, ZHOU Y M, et al. The role of tartary buckwheat resistant starch as a prebiotic in vitro[J]. Food Industry, 2019, 40 (8): 205-210.
- [14] 尉迟邈, 吴建美, 曲琳. 马铃薯抗性淀粉对糖脂代谢紊乱调节作用的研究进展[J]. 西北国防医学杂志, 2021, 42(1): 56-61.
 WEI C M, WU J M, QU L. Research progress on the regulatory effect of potato resistant starch on glucose and lipid metabolism disorders[J]. Northwest Journal of National Defense Medicine, 2021, 42(1): 56-61.
- [15] 龚永强, 刘静, 余振宇, 等. 抗性、慢消化淀粉的制备及其控血糖机理的研究进展[J]. 中国粮油学报, 2022, 37(1): 187-195.
 GONG Y Q, LIU J, YU Z Y, et al. Research progress on the preparation of resistant and slow digestible starch and its blood glucose control mechanism[J]. Chinese Journal of Cereals and Oils, 2022, 37(1): 187-195.
- [16] 陈洁, 孟春雨, 何志勇, 等. 低血糖负荷食品研究进展[J]. 食品与生物技术学报, 2016, 35(5): 449-456.
 CHEN J, MENG C Y, HE Z Y et al. Research progress in hypoglycemic load foods[J]. Journal of Food and Biotechnology, 2016, 35(5): 449-456.
- [17] 缪铭, 张涛, 秦啸天, 等. 谷物淀粉的慢消化特性与餐后血糖应答[J]. 营养学报, 2009, 31(3): 218-221.
 MIAO M, ZHANG T, QIN X T, et al. The slow digestion characteristics of cereal starch and postprandial blood glucose response[J]. Journal of Nutrition, 2009, 31(3): 218-221.
- [18] BRIGHENTI F, BENINI L, DEL RIO D, et al. Colonic fermentation of indigestible carbohydrates contributes to the second-meal effect 1-4[J]. The American Journal of Clinical Nutrition, 2006, 83(4): 817-822.
- [19] Postprandial Glucose and Insulin Response to a Cookie with or Without Added RS4 Wheat Starch After 3 Days of Pre-Feeding: A Double Blind, Randomized, Controlled Clinical Trial (P08-081-19)[J]. Current Developments in Nutrition, 2019, 3.
- [20] SAJILATA M G, SINGHAL R S, KULKARNI P R. Resistant starch-a review[J]. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2006, 5(1): 1-17.
- [21] 欧仕益, 傅亮, 黄才欢, 等. 难消化淀粉的功能及其食品中的应用[J]. 食品科学, 2001(4): 93-95.
 OU S Y, FU L, HUANG C H, et al. The function of indigestible starch and its application in food[J]. Food science, 2001(4): 93-95.
- [22] 张苹, 伍鹏, 段续, 等. 米饭冷藏时间对老年人胃排空和体外动态消化特性的影响[J]. 食品与生物技术学报, 2023, 42(3): 94-101.
 ZHANG P, WU P, DUAN X, et al. The effect of rice refrigeration time on gastric emptying and in vitro dynamic digestion characteristics in elderly people[J]. Journal of Food and Biotechnology, 2023, 42 (3): 94-101.
- [23] PELLANDA P, GHOSH T S, O'TOOLE P W. Understanding the impact of age-related changes in the gut microbiome on chronic diseases and the prospect of elderly-specific dietary interventions[J]. Current Opinion in Biotechnology, 2021, 70: 48-55.
- [24] 李颖, 张欣, 杨佳杰, 等. 抗性淀粉改善肠道功能及糖脂代谢的研究进展[J]. 食品科学, 2020, 41(13): 326-335.

- LI Y, ZHANG X, YANG J J, et al. Research progress of resistant starch in improving intestinal function and glycolipid metabolism[J]. Food science, 2020, 41(13): 326-335.
- [25] 付蕾. 抗性淀粉对面团流变学特性及加工品质的影响[D]. 山东农业大学, 2008.
- FU L. Effect of resistant starch on Rheology properties and processing quality of dough[D]. Shandong Agricultural University, 2008.
- [26] ALFA M J, STRANG D, TAPPIA P S, et al. A randomized trial to determine the impact of a digestion resistant starch composition on the gut microbiome in older and mid-age adults[J]. Clinical Nutrition, 2018, 37(3): 797-807.
- [27] 常青, 郑宝东, 张怡, 等. 生姜抗性淀粉对高脂血症大鼠降血脂作用和胆汁酸代谢的影响[J]. 食品科学, 2022, 43(7): 147-157.
- CHANG Q, ZHENG B D, ZHANG Y, et al. The effect of ginger resistant starch on blood lipid lowering and bile acid metabolism in hyperlipidemic rats[J]. Food science, 2022, 43(7): 147-157.
- [28] HARAZAKI T, INOUE S, IMAI C, et al. Resistant starch improves insulin resistance and reduces adipose tissue weight and CD11c expression in rat OLETF adipose tissue[J]. Nutrition, 2014, 30(5): 590-595.
- [29] 张阳. 低 GI 挤压重组米的配方优化及其食用品质和理化特性研究[D]. 西南大学, 2021.
- ZHANG Y. Optimization of the formula, edible quality, and physicochemical properties of low GI extruded recombinant rice [D]. Southwest University, 2021.
- [30] DJURLE S, ANDERSSON A A M, ANDERSSON R. Effects of baking on dietary fibre, with emphasis on β -glucan and resistant starch, in barley breads[J]. Journal of Cereal Science, 2018, 79: 449-455.
- [31] 米红波, 邓婷月, 李毅, 等. 抗性淀粉的消化特性及其在食品中的应用[J]. 食品与生物技术学报, 2021, 40(9): 9-15.
- MI H B, DENG T Y, LI Y, et al. The digestive characteristics of resistant starch and its application in food[J]. Journal of Food and Biotechnology, 2021, 40 (9): 9-15.
- [32] 朱哲. 豌豆抗性淀粉的制备及其在面制品中的应用[D]. 武汉轻工大学, 2017.
- ZHU Z. Preparation of pea resistant starch and its application in flour products[D]. Wuhan Light Industry University, 2017.
- [33] PUNIA S, SIROHA A K, SANDHU K S, et al. Rheological behavior of wheat starch and barley resistant starch (type IV) blends and their starch noodles making potential[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2019, 130: 595-604.
- [34] 张守花, 林海. 抗性淀粉对冷冻面团及保鲜馒头品质的影响[J]. 农业科技与信息, 2017(10): 44-46.
- ZHANG S H, LIN H. Effect of resistant starch on the quality of frozen dough and fresh Mantou[J]. Agricultural Technology and Information, 2017 (10): 44-46.
- [35] 白永亮, 陈庆发, 杜冰, 等. 香蕉抗性淀粉保健酸奶的研制[J]. 食品科学, 2012, 33(16): 318-323.
- BAI Y L, CHEN Q F, DU B, et al. Development of banana resistant starch health yogurt[J]. Food science, 2012, 33(16): 318-323.
- [36] 吴卫成, 张治国, 曹方, 等. 高抗性淀粉含量的藜麦谷物饮料及其制备方法[P]. 2021-11-05.
- WU W C, ZHANG Z G, CAO F, et al. Quinoa grain beverage with high resistant starch content and its preparation method[P]. 2021-11-05.
- [37] 王学勇, 张元, 王学军. 一种基于抗性淀粉复合膳食纤维固体饮料的制备及其降脂降糖的用途[P]. 2018-06-08.
- WANG X Y, ZHANG Y, WANG X J. Preparation of a solid beverage based on resistant starch composite dietary fiber and its use for reducing fat and sugar[P]. 2018-06-08.
- [38] 古娟. 基于抗性淀粉的微胶囊壁材的研究[D]. 天津科技大学, 2017.
- GU J. Research on microcapsule wall materials based on resistant starch[D]. Tianjin University of Science and Technology, 2017.
- [39] 李兰馨. 莲子交联抗性淀粉的性质及其在益生菌微胶囊中的应用[D]. 福建农林大学, 2022.
- LI L X. The properties of lotus seed cross-linked resistant starch and its application in probiotic microcapsules[D]. Fujian A&F University, 2022.
- [40] 黄雅萍, 叶景芬, 邓凯波, 等. 抗性淀粉用于微胶囊制备的研究进展[J]. 食品研究与开发, 2019, 40(7): 218-224.
- HUANG Y P, YE J F, DENG K B, et al. Research progress in the preparation of microcapsules using resistant starch[J]. Food Research and Development, 2019, 40(7): 218-224.
- [41] HOMAYOUNI A, AZIZI A, EHSANI M R, et al. Effect of microencapsulation and resistant starch on the probiotic survival and sensory properties of synbiotic ice cream[J]. Food Chemistry, 2008, 111(1): 50-55.
- [42] ZHANG Y, ZENG H L, WANG Y, et al. Structural characteristics and crystalline properties of lotus seed resistant starch and its prebiotic effects[J]. Food Chemistry, 2014, 155: 311-318.
- [43] ETCHEPARE M D, RADDATZ G C, FLORES E M D, et al. Effect of resistant starch and chitosan on survival of Lactobacillus acidophilus microencapsulated with sodium alginate[J]. LWT-Food Science and Technology, 2016, 65: 511-517.
- [44] 李小敏. 淀粉基复合胶体颗粒皮克林乳液的构建与应用[D]. 合肥工业大学, 2020.
- LI X M. Construction and application of starch based composite colloidal particles Pickering lotion[D]. Hefei University of Technology, 2020.
- [45] 阮少龙, 周建伟, 高德, 等. 纳米淀粉基皮克林乳液的研究进展[J]. 中国食品学报, 2021, 21(6): 312-320.
- RUAN S L, ZHOU J W, GAO D, et al. Research progress of nano starch based Pickering lotion[J]. Chinese Journal of Food Science, 2021, 21(6): 312-320. 
- 备注: 本文的彩色图表可从本刊官网 (<http://lyspkj.ijournal.cn>)、中国知网、万方、维普、超星等数据库下载获取。