

人参糖肽研究进展

The research progress of ginseng glycopeptide

俞 萍¹张庆贺^{1,2}陈长宝¹YU Ping¹ ZHANG Qing-he^{1,2} CHEN Chang-bao¹赵明月¹战 宇¹杜连云¹ZHAO Ming-yue¹ ZHAN Yu¹ DU Lian-yun¹

(1. 长春中医药大学吉林省人参科学研究院, 吉林 长春 130117; 2. 长春中医药大学药学院, 吉林 长春 130117)

(1. Jilin Ginseng Academy, Changchun University of Chinese Medicine, Changchun, Jilin 130117, China;

2. College of Pharmacy, Changchun University of Chinese Medicine, Changchun, Jilin 130117, China)

摘要:文章对人参糖肽的提取分离方法、检测分析方法、结构鉴定、功能活性等内容进行了综述,并对其未来发展方向进行了展望。

关键词:人参糖肽;提取分离;检测分析;结构鉴定;功能活性;研究进展

Abstract: In this review, the methods of extraction and separation, detection and analysis, structure identification and functional activity of ginseng glycopeptide were summarized and its future development direction was prospected.

Keywords: ginseng glycopeptide; extraction and separation; detection and analysis; structure identification; functional activity

人参为五加科植物人参(*Panax ginseng* C. A. Mey.)的干燥根和根茎。据《神农本草经》等古籍记载,人参自古就被作为食品与药物来服用^[1],2012 年卫生部将其正式列入药食同源中药^[2]。人参性甘、微苦,微温,具有大补元气、复脉固脱、补脾益肺、生津养血、安神益智等功效,主要用于治疗体虚欲脱、脾虚食少、肺虚喘咳、津伤口渴、气血亏虚、惊悸失眠、免疫力低下、糖尿病等症^[3-4]。其所含的化学成分主要有皂苷、多糖、多肽、蛋白质、糖肽、聚炔醇、挥发油、氨基酸、有机酸类等^[5-7],其中人参皂苷、多糖、多肽以及糖肽等为生物活性成分。近年来,肽类成分因其分子量小于蛋白质而具有较高的生

物利用度,又因其多具有独特的生物活性备受关注^[8],被广泛应用于药品、食品、保健食品及化妆品等领域。

文章拟综述人参糖肽的制备方法、分离纯化技术、检测分析方法、临床应用及药理活性等内容,并展望其未来发展方向,旨在为人参糖肽的进一步研究提供依据。

1 简介

糖蛋白是由 Montreuil 于 1973 年提出,是除核酸外,由蛋白质分子与一种或多种含有碳水化合物基团的物质组成的复合物^[9-10]。糖肽(glycopeptides)是指糖蛋白和蛋白聚糖中,糖与氨基酸或多肽链以共价键相连而形成的区域^[11],且糖肽在食品中常用于制作酒类,如张奎昌等^[12-13]发明了一种银杏糖肽酒的生产方法和一种富含大蒜糖肽的大蒜保健酒及其加工方法。人参糖肽(ginseng glycopeptides, GGP)相对分子质量为 200 ~ 50 000 Da,其糖部分主要由甘露糖、鼠李糖、半乳糖、葡萄糖、岩藻糖、N-乙酰葡萄糖胺与 N-乙酰半乳糖胺组成;其肽部分主要由 17 种氨基酸组成,包括甘氨酸、丝氨酸和苏氨酸等^[14-15];具有降血糖、降血脂、降胆固醇、增强学习记忆能力、保护神经细胞、抗炎镇痛等功能活性^[14,16-17]。

2 提取与分离

2.1 提取

糖肽类成分的提取方法主要包括水提醇沉法、醇提水沉法以及透析法等。杨明等^[18]采用分级沉淀法得到人参糖肽粗提物后,将其用蒸馏水溶解,于 0~3 ℃ 冰箱中冷冻放置 24 h,过滤,除去不溶物,滤液中加入粉末活性炭脱色,搅拌,静置,滤去杂质,浓缩干燥,即可得到白色或微黄色精制的人参糖肽。王颖等^[19-20]先采用透析法得到制备低相对分子质量人参糖肽的工艺,而后通过响应面法筛选制备低分子质量人参糖肽的最佳透析工艺:

基金项目:吉林省科技发展规划项目(编号:20200708049YY);国家重点研发计划项目(编号:2019YFC1710704)

作者简介:俞萍,女,长春中医药大学在读硕士研究生。

通信作者:张庆贺(1987—),女,长春中医药大学讲师,博士。

E-mail: zhangqh@ccucm.edu.cn

陈长宝(1967—),男,长春中医药大学教授,博士。

E-mail: ccb2021@126.com

收稿日期:2020-04-07

超滤液透析前其配制质量浓度为 0.6 g/mL,透析时间为 301.8 min,透析外液用水量为 3.92 L,此条件下总糖肽量为人参水提物的 79.26%。罗浩铭等^[21]通过醇提水沉与超滤法相结合,将超滤后的分离液浓缩并冻干,得到收率为原药材 7% 的人参非皂苷部分,再采用先煎煮后过 D101 大孔吸附树脂洗脱、超滤、透析法得到人参糖蛋白^[22],其收率为人参药材的 0.45%。综上,水醇法是人参糖肽的主要提取方法,为得到小分子人参糖肽,常与透析法联合应用,该方法提取工艺简单、经济、安全,适用于工业化大生产,尤其适用于食品或保健食品的开发。但其提取效果并不理想,采用新方法、新手段以提高人参糖肽提取率的最佳提取工艺仍有待进一步研究。

2.2 分离

南敏伦等^[23]使用 DEAE-Sephrose CL-6B 离子交换柱分离人参糖肽,并依次用 0.2、0.5、1.0 mol/L 的 NaCl 水溶液洗脱,再用 Sephadex G-150、G-100 柱分离纯化,采用 0.2 mol/L 的 NaCl 水溶液洗脱可得到 PGP-II,且 PGP-II 为主要的降血脂活性组分,其相对分子质量为 6 000,其中糖部分由鼠李糖、阿拉伯糖、半乳糖及葡萄糖 4 种单糖构成,物质的量为 $n(\text{Rha}) : n(\text{Ara}) : n(\text{Gal}) : n(\text{Glc}) = 0.46 : 1.61 : 1.00 : 2.37$ 。杨明等^[18]使用 Sephadex G-100 凝胶层析、醋酸纤维薄膜电泳、Con-A-Sephrose 4B、亲和层析证明了 PGP-II 为均一糖肽而不是糖和肽的混合物;甲基化分析表明,其糖肽中单糖的连接方式主要是 (1→4)Glc、(1→4)、(1→6)Gal、(1→4 或 5)Ara、Ara 和 Glc 为主要末端,Glc 的 6 位,Gal 的 4 或 6 位,Gal 的 (1→4) 应该为分枝点;氨基酸分析表明,PGP-II 肽部分由天冬氨酸(Asp)、苏氨酸(Thr)、谷氨酸(Ser)、甘氨酸(Glu)等 16 种氨基酸组成。人参糖肽类成分由于其结构中糖和氨基酸的个数与种类不同,导致其化合物的分子量有较大差别,因此其分离手段主要是根据化合物的分子量不同而采用凝胶柱层析法,该方法具有操作简便,分离效果较好,重复性高等特点。有关人参糖肽的分离纯化的研究较少,且其分离纯化方法的研究不够深入全面,还有待改善。

3 检测与分析

3.1 含量检测

人参糖肽含量检测主要是以其中性糖、酸性糖及蛋白质含量为指标。苯酚—硫酸法常被用来测定中性糖含量^[24-25],以葡萄糖为标准品;间羟基联苯法常被用来测定酸性糖含量^[26-27],以半乳糖醛酸为标准品;Lowry 法常被用来测定蛋白含量^[28-29],多以牛血清蛋白为标准品。

3.2 分子量分布测定

人参糖肽分子量测定常采用高效液相色谱法,该方法操作简便,灵敏度高,重现性好,分离度高,对质量控制具有重要意义。王颖等^[30]使用高效液相凝胶色谱分析系

统,以葡聚糖 Dextran T 系列为标准品制作标准曲线,利用 GPC 软件计算人参糖肽 PG-g 分子量分布;其选用 OHpakSB-802(8.0 mm×300 mm)凝胶分析柱,以 0.7% Na₂SO₄ 为流动相,柱温 35 ℃,流速 0.5 mL/min,此时人参糖肽 PG-g 是分子量为 1 305 Da 和 581 Da 左右的两种糖肽的混合物。王颖等^[31]采用高效液相色谱法(HPLC),以 L-色氨酸、蛋白酶抑制剂、V_{B12}、细胞色素 C 和牛血清白蛋白为对照品制作标准曲线,以 pH 7.0 的磷酸盐缓冲液为流动相,柱温为室温,流速 0.5 mL/min,进样量 20 μL 条件下,人参糖蛋白显示出多个峰,其分子量分布为 1~40 kU,平均分子量为 17 731 U。罗浩铭等^[21]运用 HPLC,以相对分子质量为 1 000、3 000、5 000、12 000、25 000 的葡聚糖与葡萄糖标准品制作标准曲线,选用 Sepax SRT SEC-100(Φ 7.8 mm×300 mm,5 μm)色谱柱,柱温 35 ℃,以 pH 7.0 的磷酸盐缓冲液为流动相,流速 0.5 mL/min,测得人参非皂苷分子量为 200~50 000 Da。

4 结构鉴定

4.1 糖类型

罗浩铭等^[22]通过 HPLC 法分析人参糖蛋白组成糖,将样品制备成 PMP 衍生物,以 PMP 衍生物的各单糖为对照品,选用 Diamonsil-C₁₈ 分析柱(Φ 4.6 mm×250 mm,5 μm)色谱柱,以流动相 A 为磷酸盐缓冲液(pH 6.8)与乙腈体积比 85:15、流动相 B 为磷酸盐缓冲液(pH 6.8)与乙腈体积比 60:40,流速 0.9 mL/min,柱温 40 ℃,检测波长 250 nm,进样量 10 μL,得到的人参糖蛋白组成糖主要含有甘露糖(Man)、半乳糖(GalA)、鼠李糖(Rha)、葡萄糖(Glc)、N-乙酰葡萄糖或 N-乙酰半乳糖(GlcNAc 或 GalNAc)。

4.2 糖结构

王颖等^[30]通过将人参糖肽 PG-g 制备成甲基化衍生物,将甲基化产物加入氢化铝锂的四氢呋喃溶液中,80 ℃ 反应 16 h,然后加入稀盐酸至无气泡产生,离心取上层,吹干后二次甲基化,经水解、还原和乙酰化并进行 GC-MS 分离鉴定,结果显示 GlcA 和 GalA 为 PG-g 的非还原末端,其中以 GlcA 为非还原末端的较多,以 (1→3)-连接的 GalA 和 (1→6)-连接的 GlcA 为主链,(1→3)-连接的 GalA 含量高于 (1→6)-连接的 GlcA,同时在部分 GlcA 的 C3 位与少量 GalA 的 C6 位存在分支点,而 Ara 以 (1→2,4)-连接方式存在于主链与支链中。

4.3 氨基酸种类

王颖等^[31]将 20 mg 人参糖蛋白加至 6 mol/L HCl 中,并充入氮气封口,于 110 ℃ 烘箱内水解 22 h,冷却,摇匀,过滤,双蒸水定容至 50 mL,取 1 mL 冻干后加入 0.02 mol/L HCl 摇匀,14 000 r/min 离心 15 min,吸取

0.8 mL 上清液过 0.45 μm 滤膜,选用 9 Eclipse XDB-C₁₈ (4.6 mm $\times$ 150 mm) 色谱柱,柱温为室温,以乙腈—水 (55 : 45, 体积比) : KH_2PO_4 缓冲液 (pH 7.2) = 30 : 70 (体积比) 为流动相,通过紫外检测器检测,检测波长 254 nm,流速 1 mL/min,结果显示,其肽部分主要由甘氨酸、半胱氨酸与苏氨酸等 17 种氨基酸组成。

5 功能活性

5.1 降血糖

人参糖肽在临床使用中可明显降低 2 型糖尿病 (T2DM) 患者的血糖,虽起效比较缓慢,但效果持久,即使停止服用后,血糖在一段时间内仍处于一个较低的水平^[32]。人参糖肽注射液已作为国家级治疗糖尿病 (DM) 的中药二类新药^[33] 应用于临床,其对体外糖基化有明显抑制作用,可用于消渴病、慢性并发症的预防和治疗,且具有补气、生津和止渴的功效^[34],并能增加机体免疫力和修复胰岛的功能^[35]。Wang 等^[36] 阐明了人参糖肽的降血糖机制,人参糖肽为 β -受体激动剂,通过第二信使 cAMP 将信息传输至线粒体和细胞质,线粒体 CST、MDH、SDH 和 CCO 活性增加,导致糖有氧氧化过程改进和血糖水平下降,降低的血糖由 PP 活性升高导致的加速肝糖元分解来补充。刘雪梅等^[37] 通过建立 2 型糖尿病大鼠模型,采用高脂饲料喂养 4 周后再腹腔注射 STZ 的研究方法,表明 STZ 糖尿病小鼠受人参糖肽的影响血糖明显下降,糖脂代谢得到改善,抑制胰岛素抵抗和多种并发症,人参糖肽结合耐力运动对 STZ 糖尿病大鼠的效果优于纯人参糖肽和耐力运动。陈文学等^[17] 建立了 2 型糖尿病气阴两虚模型,将过量的青皮和附子颗粒通过灌胃给予糖尿病大鼠,结果显示人参糖肽可使糖尿病气阴两虚大鼠血糖水平显著下降。赵丽艳等^[38-39] 通过免疫组化证实了人参糖肽对 STZ 引起的大鼠体外胰岛 β 细胞损伤有防护作用。综上,目前对人参糖肽的降血糖机制与作用研究比较深入,其良好的降血糖作用为糖尿病的治疗提供了新思路和新方向。

5.2 降血脂作用

刘雪梅等^[40] 通过建立高脂血症大鼠模型的方法研究了人参糖肽的降血脂作用,结果表明,耐力运动组、纯注射人参糖肽组与人参糖肽结合耐力运动组大鼠的 TG、TC、LDL-C、ApoB、MDA 显著低于高脂模型对照组,而 HDL-C、ApoA1、SOD 水平显著偏高;与耐力运动组相比,纯注射人参糖肽组 TC 水平显著偏低,SOD 水平显著偏高,而其他指标无明显变化,人参糖肽结合耐力运动组 TG、TC、LDL-C、ApoB 及 MDA 水平显著偏低,HDL-C、SOD 和 GSH 水平显著偏高;与纯注射人参糖肽组相比,人参糖肽结合耐力运动组 TG、LDL-C、ApoB 及 MDA 水平显著偏低,SOD、GSH 显著偏高,而其他指标无明显变

化;纯注射人参糖肽和单纯耐力运动可降低大鼠血脂水平,具有良好调节机体脂质代谢紊乱的作用;人参糖肽结合耐力运动对高脂血症大鼠的降脂作用效果优于单纯给予人参糖肽与单纯耐力运动。上述结果表明,人参糖肽降血脂作用的研究不够深入全面,且其作用机制均未见报道,后续可在相关方面进行深入研究。

5.3 抗炎和镇痛作用

田建明等^[41] 采用角叉菜胶及甲醛诱发大鼠炎症疼痛模型的研究方法,发现人参糖肽具有抗炎和镇痛效果;当角叉菜胶致炎后 6 h, 15, 30, 60 mg/kg 的人参糖肽具有明显降低大鼠足肿胀度、炎症足组织丙二醛的效果; 30, 60 mg/kg 的人参糖肽具有明显降低该模型大鼠血清 IL-1, IL-2, IL-4, TNF- α , 组胺的效果;人参糖肽对甲醛致痛 I 相 (1 ~ 5 min) 疼痛评分值基本无影响; 15, 30, 60 mg/kg 的人参糖肽对疼痛模型大鼠脑组织 5-羟色胺、多巴胺、去甲肾上腺素、谷氨酸和 γ -氨基丁酸等基本无影响,但其具有显著抑制 II 相 (31 ~ 35 min) 疼痛评分值的效果。说明人参糖肽虽具抗炎和镇痛效果,但其具体作用机制依旧不详,还有待进一步研究。

5.4 神经细胞保护作用

胡婧婷等^[42] 通过 A β 25-35 处理的 PC12 细胞凋亡模型的方法,研究人参糖肽对神经细胞的作用;当在 PC12 细胞中加入人参糖肽后,细胞存活率明显提高,凋亡率与 S 期细胞百分比显著降低;当人参糖肽浓度为 1 g/L 时,细胞存活率最高可达 121.07%,最低为 108.61%。说明人参糖肽可减慢凋亡速度,具有神经细胞保护作用,但其作用机制还有待考究。

5.5 其他作用

人参糖肽除了具有降血糖、降血脂、抗炎镇痛、保护神经细胞的功能活性外,还具有增强学习记忆能力^[21]、抗凋亡^[42]、改善胶原交联^[43] 等药理作用。Li 等^[43] 通过观察人参糖肽对大鼠尾腱胶原交联体内外的影响情况,发现尾腱胶原在人参糖肽的影响下,其溶解性明显增加。

6 结束语

目前,人参糖肽的研究主要集中于提取、分离、含量测定和功能活性等方面,但其提取方法较为单一、提取率低,且有关其分离纯化的研究相对很少,尤其是工业化的提取和纯化;由于人参糖肽结构的复杂性,其高级结构的鉴定研究有待提高;生物活性方面,其毒理学及临床试验也需逐渐开展,以及人参糖肽的构效关系研究也需进一步开展。

参考文献

- [1] 仲伟同, 迟美丽. 人参产业发展的根本出路在于药食同源[J]. 人参研究, 2009, 21(1): 26-27.

- [2] 李鹏飞, 于婷, 严红实, 等. 人参协同作用的研究现状[J]. 食品与机械, 2013, 29(5): 252-255.
- [3] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典: 一部[S]. 北京: 中国医药科技出版社, 2015: 8.
- [4] HAO Jun-jie, HU Huang-wan-yin, LIU Jing, et al. Integrated metabolomics and network pharmacology study on immunoregulation mechanisms of panax ginseng through macrophages[J]. Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine, 2019, 2019: 1-14.
- [5] 熊晨阳, 许明良, 易帆, 等. 人参不同部位主要活性成分及其在美容护肤方面的研究进展[J]. 日用化学工业, 2019, 49(3): 193-198.
- [6] ATTELE A S, WU Ji-an, YUAN Chun-su. Ginseng pharmacology: Multiple constituents and multiple actions[J]. Biochemical Pharmacology, 2000, 58(11): 1 685-1 693.
- [7] 涂会芳, 付鹏, 熊丽瑶, 等. 白虎加人参汤在糖尿病治疗中的应用[J]. 江西科技师范大学学报, 2017(6): 77-85.
- [8] 栗铭鸿, 姜伊悦, 张小勇, 等. 酶法制备元蘑蛋白肽及其分级组分抗氧化活性研究[J]. 食品与机械, 2019, 35(11): 176-181, 190.
- [9] 朱科学, 周惠明, 郭晓娜. 植物来源糖蛋白的结构与功能[J]. 食品与发酵工业, 2002, 28(12): 57-61.
- [10] 魏文志, 夏文水, 吴玉娟. 小球藻糖蛋白的分离纯化与抗氧化活性评价[J]. 食品与机械, 2006, 22(5): 20-22.
- [11] 郭俊香. 糖肽类化合物的合成及其抗真菌活性研究[D]. 上海: 第二军医大学, 2012: 12-17.
- [12] 张奎昌, 张婷婷, 武志艳. 一种银杏糖肽酒的生产方法: 201810056424.8[P]. 2018-05-04.
- [13] 张奎昌, 张婷婷. 一种富含大蒜糖肽的大蒜保健酒及其加工方法: 201810056457.2[P]. 2018-05-08.
- [14] 胡婧婷, 邱智东, 朱迪夫, 等. 人参糖肽的结构及其对 $A\beta_{25-35}$ 处理 PC12 细胞的抗凋亡作用[J]. 吉林大学学报(医学版), 2019, 45(2): 286-293.
- [15] 胡婧婷. 人参糖蛋白提取工艺、结构鉴定及其生物活性验证[D]. 吉林: 长春中医药大学, 2019: 20-25.
- [16] LUO Hao-ming, ZHU Di-fu, WANG Ying, et al. Study on the structure of ginseng glycopeptides with anti-inflammatory and analgesic activity[J]. Molecules, 2018, 23(6): 1 325-1 339.
- [17] 陈文学, 杨铭, 于德伟, 等. 人参糖肽对糖尿病气阴两虚证大鼠降血糖作用及其机制研究[J]. 中国药理学杂志, 2014, 49(21): 1 903-1 907.
- [18] 杨明, 赵全成, 冯辉. 人参糖肽的制备方法、药物制剂及医药用途: 200610017237.6[P]. 2007-03-21.
- [19] 王颖, 陈英红, 罗浩铭, 等. 透析法制备低相对分子质量人参糖肽的工艺及其性质考察[J]. 中国实验方剂学杂志, 2012, 18(18): 14-16.
- [20] 王颖, 罗浩铭, 陈英红, 等. 响应面法优化透析制备低分子质量人参糖肽的工艺[J]. 林产化学与工业, 2013, 33(2): 37-40.
- [21] 罗浩铭, 陈英红, 周婷婷, 等. 人参糖蛋白对小鼠学习和记忆能力的影响[J]. 吉林大学学报(医学版), 2016, 42(3): 439-445.
- [22] 罗浩铭, 王颖, 陈英红, 等. 人参糖蛋白对 $A\beta_{25-35}$ 诱导 SH-SY5Y 细胞凋亡的影响[J]. 中国老年学杂志, 2016, 36(24): 6 077-6 080.
- [23] 南敏伦, 赵昱玮, 司学玲, 等. 人参糖肽分离及性质[J]. 中国实验方剂学杂志, 2015, 21(3): 51-54.
- [24] 池源, 王丽波. 苯酚—硫酸法测定南瓜籽多糖含量的条件优化[J]. 食品与机械, 2014, 30(1): 89-92.
- [25] 高馨, 郭义美, 周君, 等. 苯酚—硫酸法测定红参多糖含量研究[J]. 实验室科学, 2018, 21(1): 28-30, 33.
- [26] 郭欣, 高向东, 杨晓兵. 酸性多糖中的葡萄糖醛酸与中性糖的含量测定[J]. 中国生化药物杂志, 2004, 25(2): 100-101.
- [27] 陈巧巧, 万琴, 王振中, 等. 人参多糖中糖醛酸含量测定方法的建立[J]. 中国实验方剂学杂志, 2012, 18(8): 121-124.
- [28] BRADFORD M. A rapid and sensitive method for quantification of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding[J]. Analytical Biochemistry, 1976, 72(s1/2): 248-254.
- [29] LUO Hao-ming, JIANG Rui-zhi, YANG Xiao-hong, et al. Purification and characterization of a novel tetradecapeptide from ginseng polypeptides with enhancing memory activity for mice[J]. Chemical Research in Chinese Universities, 2013, 29(4): 638-641.
- [30] 王颖, 高其品, 李桂荣, 等. 人参糖肽 PG-g 的分离纯化与结构分析[J]. 天然产物研究与开发, 2010, 22(6): 1 053-1 056.
- [31] 王颖, 陈英红, 徐宏, 等. 人参糖蛋白的结构及其镇静安眠作用研究[J]. 特产研究, 2017, 39(2): 1-4, 8.
- [32] 张秋梅, 张喆, 于德民, 等. 人参糖肽治疗 2 型糖尿病的临床观察[J]. 中国现代医学杂志, 2003(6): 59-62.
- [33] 葛焕琦, 蔡寒青, 王涛, 等. 人参糖肽注射液治疗 2 型糖尿病 30 例[J]. 吉林大学学报(医学版), 2003(2): 206-207.
- [34] 曲德斌, 王媛媛. 人参糖肽注射液肽含量测定研究[J]. 中国执业药师, 2013, 10(12): 21-22.
- [35] 陈英红, 罗浩铭, 王颖, 等. 高效凝胶渗透色谱法测定人参糖肽注射液的重均分子量[J]. 特产研究, 2013, 35(4): 55-57.
- [36] WANG Ben-xiang, ZHOU Qiu-li, YANG Ming, et al. Hypoglycemic mechanism of ginseng glycopeptide[J]. Acta Pharmacologica Sinica, 2003, 24(1): 61-66.
- [37] 刘雪梅, 陈文学, 杨铭, 等. 人参糖肽结合耐力运动对糖尿病大鼠降血糖作用及其机制研究[J]. 中国体育科技, 2014, 50(6): 134-140.
- [38] 赵丽艳, 李相军, 张秀云, 等. 人参糖肽对大鼠胰岛 β 细胞损伤的改善作用[J]. 中国老年学杂志, 2016, 36(15): 3 638-3 639.
- [39] 赵丽艳, 张秀云, 苗春生, 等. 人参糖肽对大鼠体外胰岛 β 细胞的保护作用[J]. 中国老年学杂志, 2017, 37(15): 3 667-3 669.

(下转第 227 页)

- sidase: A review[J]. Process Biochemistry, 2010, 45(8): 1 226-1 235.
- [79] LEE J H, HWANG C E, SON K S, et al. Comparisons of nutritional constituents in soybeans during solid state fermentation times and screening for their glucosidase enzymes and antioxidant properties[J]. Food Chemistry, 2019, 272: 362-371.
- [80] HUYNH N T, SMAGGHE G, GONZALES G B, et al. Bioconversion of Kaempferol and Quercetin glucosides from plant sources using *Rhizopus spp*[J]. Fermentation, 2018 (4): 102.
- [81] 邓小云, 丁登峰, 戴美红, 等. 植物多糖药理作用研究进展[J]. 中医药导报, 2006, 12(9): 86-88.
- [82] 黄依佳, 吴剑荣, 朱莉, 等. 蓝藻多糖的分离、结构表征及抗氧化活性研究[J]. 食品与机械, 2018, 34(2): 176-180.
- [83] 王园, 史俊祥, 段元霄, 等. 赭皮多糖微生物发酵工艺优化及其抗炎活性[J]. 食品科学, 2018, 39(14): 192-198.
- [84] 张海芸, 贺亮, 李琴, 等. 降解对植物多糖理化性质以及生物活性影响的研究[J]. 食品与发酵科技, 2019(3): 15-19.
- [85] 叶水英. 色素植物与植物色素的应用探析[J]. 现代农业科技, 2018(14): 236-238.
- [86] BUZZINI P. Batch and fed-batch carotenoid production by *Rhodotorula glutinis-Debaryomyces castellii* co-cultures in corn syrup[J]. Journal of Applied Microbiology, 2001, 90 (5): 843-847.
- [87] MIURA Y, KONDO K, SAITO T, et al. Production of the carotenoids lycopene, β -carotene, and astaxanthin in the food yeast *Candida utilis*[J]. Applied and Environmental Microbiology, 1998, 64(4): 1 226-1 229.
- [88] NASSERI A T, RASOUL-AMINI S, MOROWVAT M H, et al. Single cell protein: Production and process[J]. American Journal of Food Technology, 2011, 6(2): 103-116.
- [89] 钟瑾, 刘一达, 肖愈. 辣椒籽中生物活性成分及其功能活性研究进展[J]. 食品与机械, 2019, 35(5): 231-236.
- [90] KHAN M, KHAN S S, AHMED Z, et al. Production of single cell protein from *Saccharomyces cerevisiae* by utilizing fruit wastes[J]. Nanobiotechnica Universale, 2010 (2): 127-132.
- [91] DESGRANGES C, VERGOIGNAN C, LEREEC A, et al. Use of solid state fermentation to produce *Beauveria bassiana* for the biological control of European corn borer[J]. Biotechnology Advances, 1993, 11(3): 577-587.

(上接第 182 页)

- [13] 刘艳, 段振华, 唐小闲, 等. 大果山楂片热风干燥特性及其动力学模型[J]. 食品工业, 2017, 38(3): 82-87.
- [14] 宋树杰, 张舒晴, 姚谦卓, 等. 熟化甘薯片微波干燥特性及其动力学模型[J]. 食品工业科技, 2020, 41(3): 199-205.
- [15] 刘兵, 李川, 段振华, 等. 罗非鱼片渗透—真空微波干燥特性及动力学模型[J]. 食品工业科技, 2017, 38(18): 30-35.
- [16] 楚文靖, 盛丹梅, 张楠, 等. 红心火龙果热风干燥动力学模型及品质变化[J]. 食品科学, 2019, 40(17): 150-155.
- [17] 巨浩羽, 杨劲松, 赵海燕, 等. 真空—蒸汽脉动烫漂预处理对百合干燥特性的影响[J]. 食品与机械, 2019, 35(11): 206-210, 216.
- [18] 盘喻颜, 段振华, 刘艳, 等. 火龙果片微波间歇干燥特性及其动力学研究[J]. 食品与机械, 2019, 35(3): 195-201.
- [19] 刘旺星, 陈雄飞, 余佳佳, 等. 胡萝卜微波干燥特性及动力学模型[J]. 食品工业科技, 2019, 40(9): 68-72, 77.
- [20] 李婧怡, 段振华, 刘怡彤. 黄秋葵真空微波干燥特性及其动力学研究[J]. 食品工业科技, 2013, 34(22): 285-289.
- [21] 安可婧, 徐玉娟, 魏来, 等. 龙眼间歇真空微波干燥动力学研究[J]. 食品与机械, 2018, 34(9): 30-36.
- [22] 李定金, 段振华, 刘艳, 等. 利用低场核磁共振技术研究调味山药片真空微波干燥过程中水分的变化规律[J]. 食品科学, 2019, 40(5): 116-123.
- [23] 田华. 生姜微波干燥动力学模型构建[J]. 保鲜与加工, 2020, 20(1): 127-132.

(上接第 189 页)

- [29] LYKOMITROS D, DEN BOER L, HAMOEN R, et al. A comprehensive look at the effect of processing on peanut (*Arachis spp.*) texture[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2018, 98(10): 3 962-3 972.
- [30] LING Bo, OU-YANG Shao-hui, WANG Shao-jin. Radio-frequency treatment for stabilization of wheat germ: Storage stability and physicochemical properties[J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2019, 52: 158-165.

(上接第 218 页)

- [40] 刘雪梅, 陈文学, 杨铭, 等. 人参糖肽结合耐力运动对高脂血症大鼠血脂和抗氧化功能的影响[J]. 食品科学, 2014, 35(17): 255-259.
- [41] 田建明, 韦康, 陈英红, 等. 人参糖肽对大鼠的抗炎和镇痛作用[J]. 中国新药杂志, 2018, 27(14): 1 658-1 662.
- [42] 狄良娇. 人参糖肽对 $A\beta_{25-35}$ 诱导的认知障碍大鼠抗炎与抗凋亡机制研究[D]. 吉林: 吉林大学, 2015: 1-3.
- [43] LI Cai, LI Xiang-jun, MIAO Chun-sheng, et al. Ameliorative effect of ginseng glycopeptide on cross-linking of rat tail tendon collagen[J]. China Journal of Chinese Materia Medica, 2005, 30(7): 544-547.