

辐照处理对桦褐孔菌多糖降血糖作用的影响

Effects of irradiated proces on hypoglycemic activity of *Inonotus obliquus* polysaccharide

张露¹ 姜欣¹ 金莉英¹ 林长青² 崔承弼³

ZHANG Lu¹ JIANG Xin¹ JIN Li-ying¹ LIN Chang-qing² CUI Cheng-bi³

(1. 延边大学融合学院, 吉林 延吉 133000; 2. 延边大学医学院, 吉林 延吉 133000;

3. 延边大学长白山天然药物研究教育部重点实验室, 吉林 延吉 133000)

(1. Convergence College of Yanbian University, Yanji, Jilin 133000, China; 2. Medical School of Yanbian University, Yanji, Jilin 133000, China; 3. Key Laboratory of Natural Medicine Research of Changbai Mountain, Ministry of Education, Yanbian University, Yanji, Jilin 133000, China)

摘要:为探究⁶⁰Co- γ 射线辐照对桦褐孔菌多糖降血糖作用的影响,分别提取5,10,20,30 kGy辐照剂量下的多糖测定含量。按分组剂量对由链脲佐菌素(STZ)诱导的1型糖尿病小鼠模型进行灌胃试验,期间每天测定小鼠体重、摄食量及饮水量,每7 d检测血糖,30 d后进行葡萄糖耐量试验(OGTT),取血解剖测定糖化血红蛋白(GHb)、总胆固醇(TC)、甘油三酯(TG)水平及脏器系数。结果表明:当辐照剂量为20 kGy时,多糖含量最高;相同给药剂量下经辐照后的桦褐孔菌多糖较未辐照的多糖缓解糖尿病小鼠肝脾肿大症状的效果更佳($P < 0.05$),且不会对小鼠的心脾功能造成负担;同时在降血糖方面起效更快($P < 0.05$)。

关键词:桦褐孔菌;多糖;辐照;糖尿病;降血糖

Abstract: The effect of ⁶⁰Co- γ ray irradiation on hypoglycemic activity of polysaccharides from *Inonotus obliquus* was explored. The polysaccharides of *Inonotus obliquus* under the irradiation doses of 5, 10, 20 and 30 kGy were extracted and their contents were determined. The experiment was performed on a mouse model of type I diabetes induced by streptozotocin (STZ) according to the grouping dose. The body weight, food intake and water intake of the mice were measured every day during the experiment, blood glucose levels were measured every 7 days, and glucose tolerance test (OGTT) was performed 30 days later. Blood samples were dissected and analyzed for glycated hemoglobin

(GHb), total cholesterol (TC), triglyceride (TG) levels and organ coefficients. The results showed that when the irradiation dose was 20 kGy, the polysaccharide content was the highest; The irradiated polysaccharides of *Inonotus obliquus* at the same dosage can be more effective than the unirradiated polysaccharides in relieving the symptoms of liver and kidney enlargement in diabetic mice ($P < 0.05$) without burdening the heart and spleen function of the mice; At the same time, it has a faster effect on reducing blood sugar ($P < 0.05$). Therefore, the polysaccharides of *Inonotus obliquus* after irradiation treatment has a good hypoglycemic effect, which provides a reference for the in-depth exploration of irradiation treatment the polysaccharides of *Inonotus obliquus* to lower blood glucose.

Keywords: *Inonotus obliquus*; polysaccharide; irradiation; diabetes; hypoglycemic

糖尿病作为近些年来逐渐多发的以慢性高血糖为明显特点的内分泌代谢型疾病,受到自身免疫系统、环境及遗传因素的共同影响,临床主要分为3种类型:1型、2型及妊娠糖尿病^[1]。2019年全球成年人(20~79岁)患糖尿病数目约达4.63亿,其中中国已达1.16亿,位居榜首,每年中国因糖尿病死亡人数约达83.4万^[2-3]。糖尿病已然发展成癌症和心脑血管病之后的又一大全球性顽症,各种并发症会导致患者的残疾或早亡^[4]。

糖尿病不宜单纯依赖药物治疗,长期服用相关西药存在一定副作用,所以目前食疗是临床上医治糖尿病的基础措施^[5]。许多研究人员选择依赖性弱、安全性高、不良反应小的植物多糖和微生物多糖作为饮食治疗糖尿病的研究方向,主要是从研究材料的可获取性和有效性的角度进行研究^[6]。

桦褐孔菌(*Inonotus obliquus*),即白桦茸(*Chaga*),是

基金项目:吉林省科技厅科技攻关项目(编号:20170204023YY)

作者简介:张露,女,延边大学在读硕士研究生。

通信作者:林长青(1970—),男,延边大学副教授,博士。

E-mail:lcq0608@163.com

崔承弼(1968—),男,延边大学教授,博士。

E-mail:cuichengbi@ybu.edu.cn

收稿日期:2020-08-06

一类生长于白桦树上的药用真菌,其含有大量的植物纤维类多糖体,具有抵抗癌症、降血压、降血糖、复活免疫等作用^[7],谢洋等^[8]发现桦褐孔菌菌核中的多糖可降低人体血糖指标。据研究^[9-10]报道,从桦褐孔菌多糖菌核和菌丝中提取的水溶性多糖(F1)及糖蛋白(FIS-1)可降低人体血糖浓度,并使之维持在较低水平长达 2 d。Diao 等^[11]发现,桦褐孔菌多糖可使 STZ 诱导的糖尿病大鼠的血糖水平及低密度脂蛋白(LDL)显著下降,高密度脂蛋白(HDL)显著提升。同时,可通过抑制肠道 α -淀粉酶和 α -葡萄糖酶,减少碳水化合物吸收,有效降低餐后血糖值,亦可修复胰岛损伤,改善并发症^[12]。

“辐照食品”即以放射性元素(铯-137,钴-60 等)的辐照处理来进行杀菌消毒的食品。辐照是一种新型食品保鲜灭菌技术^[13],在 1~5 kGy 范围内可以消除食物中的病原微生物,不会影响食物的感官和营养品质,同时可节省大量的能源和时间^[14-15]。桦褐孔菌因富含多种活性成分,为避免其在生长期储存和加工过程中营养成分受微生物污染影响卫生质量,必须对其进行灭菌处理,但一些有机生物的活性成分也会发生变化^[16]。研究^[17]显示,经一定剂量⁶⁰Co- γ 射线照射后能有效杀灭黄精中微生物,但也可能使多糖含量降低。随着研究的深入,国际食品法典委员会(CAC)于 2003 年去除了食品辐照加工中 10 kGy 最大吸收量的限制^[18-19]。目前⁶⁰Co- γ 射线辐照对桦褐孔菌多糖的降血糖效果的影响研究尚未见报道。

试验拟探讨⁶⁰Co- γ 射线辐照与未辐照的桦褐孔菌多糖对 STZ 建模小鼠的降糖效果,以及对其糖耐量、脏器系数、甘油三酯(TG)、总胆固醇(TC)和糖化血红蛋白(GHb)等相关指标是否具有一定影响,能否使其性能得到改善,从而可以进一步扩大应用范围,为辐照技术在桦褐孔菌多糖降血糖领域的应用提供参考。

1 材料与方法

1.1 动物、材料与试剂

雄性昆明种小鼠:35 只,体重 20~25 g,延边大学动物实验中心;

桦褐孔菌:长白山科学院;

链脲佐菌素(STZ):色谱级,美国 Sigma 公司;

盐酸二甲双胍:纯度 0.5 g/片(以 $C_4H_{22}N_5 \cdot HCl$ 计),河北山姆士药业有限公司;

柠檬酸、柠檬酸钠:分析纯,天津华东试剂厂;

氯化钠注射液(0.9%):吉林康乃尔制药集团;

葡萄糖粉剂:广西梧州制药(集团)股份有限公司;

T-CHO 试剂盒、TG 试剂盒、GHb 试剂盒:南京市建成生物研究所;

苯酚:分析纯,天津永晟化工厂;

硫酸:分析纯,北京化工厂;

无水乙醇:分析纯,天津市科密欧化学试剂有限公司。

1.2 仪器与设备

落地式连续投料粉碎机:DF-35 型,温岭市林大机械有限公司;

电热恒温培养箱:DNP-9082 型,上海市精宏设备股份有限公司;

血糖仪:AG-605 型,天津市九安医疗公司;

离心机:TG16A-WS 型,上海卢湘仪器有限公司;

实验型冷冻干燥机:LyoQuest-55 型,西班牙 Telstar 集团;

真空泵:DTC-22B 型,日本 Uluac Kiko 公司;

冷凝器:CCA-1111-CE 型,东京理化器械株式会社;

水浴锅:OSB-2100-CE 型,东京理化器械株式会社;

涡旋混匀器:MS 3 basic 型,德国 IKA 集团。

1.3 方法

1.3.1 辐照处理 常温运输样品至四川省原子能研究院进行辐照处理。采用⁶⁰Co- γ 辐照装置,辐照方式为动态步进。辐照过程以实测值为准进行剂量(重铬酸银和重铬酸钾剂量计)跟踪,剂量计经中国计量科学院丙氨酸剂量计(NDAS)比对标定。 γ 射线辐照剂量分别为 5,10,20,30 kGy,每个剂量 3 次平行^[20-21]。

1.3.2 多糖的提取及含量测定

(1) 多糖提取:利用热水浸提法^[22]。取不同辐照剂量(5,10,20,30 kGy)桦褐孔菌菌粉各 5 g,分别添加体积分数为 85%的乙醇并充分混匀,80 ℃水浴 2.5 h,温度降至室温,4 000 r/min 离心 10 min,抽滤上清液旋蒸后冻干,即得桦褐孔菌多糖粉末。

(2) 含量测定:利用苯酚—硫酸法。取不同辐照剂量(5,10,20,30 kGy)桦褐孔菌多糖粉末各 1 mg,分别使用蒸馏水定容至 10 mL,移取 1 mL 加入苯酚 0.5 mL 和浓硫酸 2.5 mL,混合均匀,沸水浴 15 min,温度降至室温,测得 490 nm 处的 OD 值^[23]。

1.3.3 血糖水平及糖耐量测定 小鼠隔夜禁食 12 h(晚 9:00~早 9:00),剪尾取血,取第 2 滴血液进行测量。末次灌胃后隔夜禁食测定其糖耐量^[24]:经口一次性灌胃大剂量葡萄糖溶液后(2 g/kg · BW),持续观察 2 h,每 30 min 测量血糖水平并记录。

1.3.4 建立糖尿病模型

(1) 链脲佐菌素(STZ)配制:将 STZ 每管 5 mg 分装,锡纸包裹。将柠檬酸—柠檬酸钠溶解配置成缓冲溶液(0.1 mol/L, pH 4.39),以其溶解 STZ 配置成 12 mg/mL 注射液,振荡混匀,避光冰浴保存,现配现用^[25]。

(2) 小鼠造模:禁食过夜后,根据体重进行一次大剂量(120 mg/kg · BW)腹腔注射 STZ,建立 1 型糖尿病模型,浓度 12 mg/mL,空白组注射相同剂量的缓冲溶液。每组小鼠在 30 min 内完成注射,并在注射后 1 h 自由进食^[26]。最终空腹血糖值高于 11.1 mmol/mL 为 1 型糖尿

病造模成功^[27]。

1.3.5 分组及剂量设置 如表 1 所示,35 只小鼠随机分成 7 组,每组 5 只。每日给药一次,连续 30 d 记录体重、食物和水的摄入量。根据小鼠体重增量与其摄食量的比值求得食物效价(%)。每 7 d 检测血糖水平,给药治疗 35 d 后测量糖耐量,并解剖。

表 1 分组及剂量设置

Table 1 Groups and drug dosage (n=5)

组别	试剂	剂量/(mg·kg ⁻¹ ·BW)
空白对照组	蒸馏水	—
阴性对照组	蒸馏水	—
阳性对照组	盐酸二甲双胍	500
20 kGy 高剂量组	辐照桦褐孔菌多糖	500
20 kGy 中剂量组	辐照桦褐孔菌多糖	250
20 kGy 低剂量组	辐照桦褐孔菌多糖	50
未辐照组	未辐照桦褐孔菌多糖	500

1.3.6 指标测定 受试小鼠解剖时取心、肝、脾和肾,观察差异,称量并记录分析得脏器系数。受试小鼠取眼血和肝脏,冰浴保存,然后分别按照相应试剂盒的使用方法进行操作,测定吸光值,而后分别计算 TC、TG 和 GHb 含量^[28]。

1.4 统计学分析

采用 SPSS 22.0 对所得的试验数据进行统计学分析,进行单因素试验,所得数据以图表和均值±标准偏差($\bar{x} \pm SD$)的形式表示。P<0.05 表示差异性显著,P<0.01表示差异性极为显著,P>0.05 表示无显著性差异,即无统计学意义。

2 结果与分析

2.1 样品最佳辐照剂量的选定

经测定,标准曲线为 $y = 0.541x + 0.950$ ($R^2 = 0.998$)。如表 2 所示,20 kGy 剂量时多糖含量最高,且早在 1999 年相关机构即提出使用超过 10 kGy 的吸收剂量的辐照食品是安全的^[29]。故试验选取辐照剂量为 20 kGy 的桦褐孔菌用于后续的动物试验。

表 2 不同辐照剂量处理后的桦褐孔菌多糖含量[†]

Table 2 Polysaccharide content after treatment with different irradiation doses

辐照剂量/ kGy	多糖/ (mg·mL ⁻¹)	辐照剂量/ kGy	多糖/ (mg·mL ⁻¹)
5	1.08±0.04 ^c	20	1.34±0.04 ^a
10	1.16±0.03 ^b	30	1.19±0.06 ^b

† 字母不同表示差异显著(P<0.05)。

2.2 桦褐孔菌多糖对小鼠基础指标的影响

经试验对比观察后得:空白组小鼠垫料干燥,毛发健康,体重增长较快;阴性组小鼠摄食量、饮水量明显多于其他各组,垫料浸湿严重,毛发枯黄粗糙,体型瘦小;给药各组随给药次数的增加状态均有好转。

如表 3 所示,高剂量组体重增量显著高于阴性组(P<0.05)且与阳性组相近(P>0.05),其饮水量显著低于未辐照组(P<0.05),给药后高剂量组食物利用率最高,未辐照组最低。综上,辐照处理可以提高食物利用率,改善糖尿病小鼠健康状况及“三多一少”症状。

2.3 桦褐孔菌多糖对小鼠血液指标的影响

2.3.1 空腹血糖 如表 4 所示,造模 1 周后除空白组外,血糖均稳定在 11.1 mmol/L 以上,开始给予药物治疗。造模后 14 d 即给药 1 周后,治疗组血糖值均有所下降,且随给药剂量的增加血糖值逐渐降低,其中在相同的给药剂量下,辐照组的血糖显著低于未辐照组(P<0.05),且持续 1 周;末次检测结果显示:给药组中阳性、高剂量和未辐照的降糖效果相似,且显著优于其他组(P<0.05)。已有动物试验^[30]结果显示,药用真菌桦褐孔菌多糖具有一定的降糖效果,能够修复糖尿病小鼠受损胰岛β细胞功能,促使胰岛素分泌,有效改善小鼠血糖,与试验中的效果相符。综上,随着给药时间的延长,辐照高剂量组与未辐照组的桦褐孔菌多糖降糖效果均与阳性对照组的疗效相似(P>0.05),但经辐照处理后的桦褐孔菌多糖相比于未辐照的起效更快,在给药后的第 1 周即可观察到显著差异(P<0.05),且持续一段时间,而未辐照组在给药后的第 3 周降糖效果才与之相似(P>0.05)。

表 3 试验期间各组小鼠体重及摄食饮水情况[†]

Table 3 Body weight, diet and water consumption in groups (n=5)

组别	初始体重/g	最终体重/g	体重增量/g	摄食量/g	饮水量/g	食物效价/%
空白对照组	22.94±0.95 ^a	51.13±2.12 ^a	28.18±2.05 ^a	208.26 ^f	131.68 ^f	13.53
阴性对照组	21.13±2.24 ^a	36.33±1.16 ^c	15.20±1.63 ^c	469.87 ^a	1 650.57 ^a	3.23
阳性对照组	20.30±1.27 ^a	41.64±4.48 ^{bc}	21.34±3.38 ^b	424.93 ^b	1 362.52 ^c	5.02
高剂量组	21.90±3.08 ^a	42.52±3.41 ^b	20.62±1.39 ^b	365.87 ^c	1 354.55 ^d	5.64
中剂量组	20.46±0.96 ^a	30.04±3.51 ^{bc}	18.58±3.53 ^{bc}	383.32 ^c	1 389.34 ^b	4.85
低剂量组	20.12±1.01 ^a	40.59±4.22 ^{bc}	20.47±3.21 ^b	372.93 ^d	1 139.32 ^c	5.49
未辐照组	21.51±0.92 ^a	38.17±4.24 ^{bc}	16.65±3.66 ^{bc}	366.01 ^c	1 364.55 ^c	4.55

† 同列字母不同表示差异显著(P<0.05)。

表 4 试验各组小鼠血糖值变化[†]

Table 4 Changes of fasting blood glucose of mice in groups during the experiment mmol/L

组别	第 0 天	第 7 天	第 14 天	第 21 天	第 28 天	第 35 天
空白对照组	6.78±0.37 ^a	8.70±0.14 ^b	8.33±0.13 ^f	8.95±0.17 ^g	9.28±0.22 ^e	7.35±0.34 ^e
阴性对照组	6.85±0.24 ^a	27.13±1.27 ^a	26.10±0.34 ^a	27.58±0.72 ^a	30.03±0.61 ^a	31.15±1.32 ^a
阳性对照组	6.63±0.29 ^a	25.78±0.61 ^a	24.08±0.46 ^d	20.60±0.32 ^f	18.85±0.48 ^d	18.63±0.76 ^d
高剂量组	6.93±0.33 ^a	25.85±0.73 ^a	23.13±0.59 ^e	22.58±0.46 ^e	20.13±0.59 ^e	17.53±0.49 ^d
中剂量组	6.55±0.35 ^a	26.70±0.22 ^a	24.78±0.30 ^{bc}	24.60±0.45 ^e	22.73±0.66 ^b	19.88±0.51 ^c
低剂量组	6.85±0.38 ^a	27.08±0.39 ^a	25.33±0.32 ^b	25.83±0.25 ^b	23.48±0.42 ^b	21.70±0.64 ^b
未辐照组	6.70±0.46 ^a	26.30±0.62 ^a	24.33±0.55 ^{cd}	23.63±0.21 ^d	20.77±1.05 ^c	18.33±0.40 ^d

[†] 同列字母不同表示差异显著(P<0.05)。

2.3.2 糖耐量 如图 1 所示,在 60~90 min 高剂量组、未辐照组和阳性对照组的血糖水平急剧下降,且与空白对照组下降趋势相似,与阴性对照组有显著差异(P<0.05)。因此,由 STZ 导致的小鼠糖耐量水平异常现象在桦褐孔菌多糖干预下得到了改善,其中高剂量组与未辐照组效果相似,表明辐照并未降低小鼠抗高血糖能力。有体外研究^[31]得出,桦褐孔菌多糖有较强的 α -葡萄糖苷酶抑制活性,在一定范围内可以提升 IR 细胞的葡萄糖消耗量。

2.3.3 GHb、TC、TG 由表 5 可知,高剂量组、未辐照组和阳性对照组的各项检测值均无显著性差异(P>0.05),三者均低于中、低剂量组,并且与阴性对照组差异显著(P<0.05)。结合相关研究^[32]发现,经发酵处理的桦褐孔菌可使糖尿病大鼠的 TC、TG 含量明显降低,说明其具有较佳改善血脂的作用。同时辐照处理并没有对以上指标造成影响,亦不会降低其降糖功效。

2.4 桦褐孔菌多糖对小鼠脏器系数的影响

由表 6 可知,心脾脏器系数无显著差异(P>0.05),而肝肾重量均在造模后显著增加(P<0.05),经桦褐孔菌多糖治疗的肝肾系数显著低于阴性对照组(P<0.05)。张苗等^[33]通过研究得出,桦褐孔菌总多糖对 STZ 诱导的糖尿病大鼠肝脏有保护作用,与试验结果相符。但相同给

药剂量下,辐照组的肝脏脏器系数显著低于未辐照组(P<0.05),肾脏脏器系数与空白组无显著差异(P>0.05)。说明经辐照处理后的桦褐孔菌多糖缓解糖尿病肝肾肿大并发症的能力明显优于未经辐照的多糖,甚至对肝脏的抗损伤作用明显好于阳性组。

表 5 桦褐孔菌多糖对 GHb、TC、TG 的影响[†]

Table 5 Effects of *Inonotus obliquus* polysaccharide extract on GHb and TC, TG

组别	TC/ (mmol · L ⁻¹)	TG/ (mmol · L ⁻¹)	GHb/%
空白对照组	2.14±0.07 ^c	0.82±0.10 ^d	6.93±1.90 ^c
阴性对照组	2.64±0.16 ^a	2.15±0.48 ^a	12.63±0.87 ^a
阳性对照组	2.25±0.15 ^{bc}	0.85±0.06 ^{cd}	9.71±0.16 ^b
高剂量组	2.30±0.13 ^{bc}	0.96±0.09 ^{bcd}	10.16±0.28 ^b
中剂量组	2.45±0.15 ^{ab}	1.20±0.21 ^{bc}	11.07±0.12 ^{ab}
低剂量组	2.55±0.15 ^a	1.28±0.09 ^b	11.80±0.13 ^{ab}
未辐照组	2.30±0.16 ^{bc}	1.12±0.16 ^{bcd}	10.75±0.19 ^b

[†] 同列字母不同表示差异显著(P<0.05)。

表 6 桦褐孔菌多糖对各组小鼠脏器系数的影响[†]

Table 6 Effect of *Inonotus obliquus* polysaccharide on organ coefficient in groups %

组别	心	肝	脾	肾
空白对照组	0.59±0.05 ^{ab}	4.25±0.16 ^c	0.28±0.08 ^a	1.20±0.06 ^c
阴性对照组	0.65±0.13 ^a	6.84±0.13 ^a	0.36±0.06 ^a	2.13±0.18 ^a
阳性对照组	0.51±0.06 ^{ab}	6.03±1.07 ^{ab}	0.38±0.06 ^a	1.65±0.38 ^b
高剂量组	0.64±0.15 ^{ab}	4.71±0.86 ^c	0.34±0.51 ^a	1.47±0.25 ^{bc}
中剂量组	0.49±0.08 ^b	5.64±0.23 ^b	0.32±0.55 ^a	1.70±0.19 ^b
低剂量组	0.60±0.06 ^{ab}	5.59±0.31 ^b	0.39±0.10 ^a	1.70±0.11 ^b
未辐照组	0.54±0.07 ^{ab}	5.49±0.99 ^b	0.37±0.12 ^a	1.67±0.32 ^b

[†] 同列字母不同表示差异显著(P<0.05)。

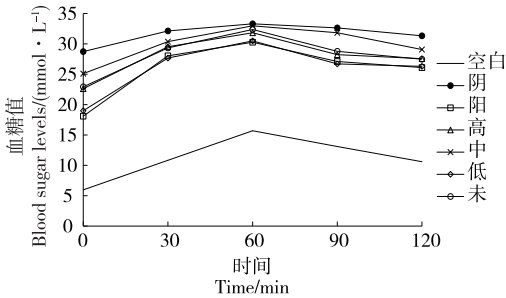


图 1 给药剂量对各试验组小鼠糖耐量的影响

Figure 1 Effects of different dosages on glucose tolerance of mice in each experimental group

3 结论

使用⁶⁰Co-γ射线辐照技术灭菌在杀灭微生物的基础上没有削弱桦褐孔菌多糖降血糖的作用效果。辐照处理后的桦褐孔菌与未经辐照处理的相比,在降血糖方面起效更快($P<0.05$),提前2周即达到效果,很大程度上缩短了治疗时间,同时其能够显著缓解糖尿病肝肾肿大并发症($P<0.05$),且不会对其他脏器造成负担。辐照处理也最大程度地保留了其对小鼠血清及糖耐量水平的改善效果。但辐照所引起的具体成分变化和作用机理尚不明确,需在下一步的研究中进行探讨。

参考文献

- [1] 钱虹, 陆锐明. 糖尿病的研究现状及进展[J]. 医学综述, 2015(13): 2 418-2 420.
- [2] SAEEDI P, PETERSON I, SALPEA P, et al. Global and regional diabetes prevalence estimates for 2019 and projections for 2030 and 2045: Results from the international diabetes federation diabetes atlas, 9th edition[J]. Diabetes Res Clin Pract, 2019, 157: 107843.
- [3] 屠荣, 彭清, 周敬群. GLP-1受体激动剂对2型糖尿病患者血管病变影响机制的研究进展[J]. 右江医学, 2020, 48(8): 626-629.
- [4] 刘向辉. 桦褐孔菌对实验性Ⅱ型糖尿病治疗作用的研究[D]. 西安: 西北大学, 2014: 3-4.
- [5] 刘东波, 周佳丽, 李坚, 等. 营养干预在糖尿病治疗中的研究进展[J]. 食品与机械, 2019, 35(6): 1-11.
- [6] 张家瑜, 方京徽, 刘鹏举, 等. 多糖在糖尿病治疗中的机制及应用[J]. 中国糖尿病杂志, 2017, 25(9): 858-862.
- [7] 钟秀宏, 孙艳美, 郑楷, 等. 桦褐孔菌多糖药理活性研究进展[J]. 上海中医药杂志, 2016, 50(1): 94-97.
- [8] 谢洋, 李鹏, 隋新, 等. 桦褐孔菌多糖的研究进展与展望[J]. 化学工程师, 2017, 31(11): 55-57.
- [9] 张秋平. 桦褐孔菌多糖的化学修饰、理化性质及生物活性研究[D]. 杭州: 浙江理工大学, 2016: 2-8.
- [10] 孟繁龙. 研究桦褐孔菌发酵工艺优化及胞内多糖降血糖活性[D]. 长春: 吉林大学, 2016: 4-8.
- [11] DIAO Bao-zhong, JIN Wei-rong, YU Xue-jing. Protective effect of polysaccharides from *Inonotus obliquus* on streptozotocin-induced diabetic symptoms and their potential mechanisms in rats[J]. Evidence-Based Complementray and Alternative Medicine, 2014, 2 014: 841496.
- [12] 吴宇锋, 颜美秋. 桦褐孔菌降血糖作用及机制研究进展[J]. 中药材, 2018, 41(11): 2 716-2 720.
- [13] 陈湘霞. 辐照对食品中营养成分的影响分析[J]. 技术与市场, 2017, 24(9): 67-68.
- [14] 李树锦, 金乾坤, 李晓东, 等. 浅谈食品辐照技术的研究现状[J]. 延边大学农学学报, 2012, 34(4): 362-366.
- [15] AMIN M K, MOTAHAREH H M, CARLOS A F O, et al. Electron beam irradiation to reduce the mycotoxin and microbial contaminations of cereal-based products: An overview [J]. Food and Chemical Toxicology, 2020, 143: 111557.
- [16] 王润. 食品辐照保藏技术对食品品质的影响以及安全性讨论[J]. 现代食品, 2015(13): 56-58.
- [17] 黄赵刚, 梁豆豆, 李飞龙, 等. ⁶⁰Co-γ射线辐照对黄精中微生物及多糖的影响[J]. 中成药, 2019, 41(8): 1 957-1 959.
- [18] RAVINDRAN R, JAISWAL A K. Wholesomeness and safety aspects of irradiated foods [J]. Food Chemistry, 2019, 285: 363-368.
- [19] 王辰龙, 吴翔, 徐宏青. 辐照技术在食品中的应用及研究进展[J]. 安徽农业科学, 2018, 46(8): 23-25.
- [20] 彭玲, 徐远芳, 张祺玲, 等. ⁶⁰Co-γ射线辐照对酱卤鸡爪杀菌效果及品质的影响[J]. 食品与机械, 2017, 33(12): 110-114, 134.
- [21] 张祺玲, 彭玲, 徐远芳, 等. ⁶⁰Co-γ射线和电子束辐照对红碎茶杀菌效果与品质的影响[J]. 食品与机械, 2020, 36(3): 148-153, 178.
- [22] 常晨, 包怡红. 桦褐孔菌多糖的研究进展[J]. 食品与机械, 2017, 33(1): 201-204.
- [23] 何靖柳. 肉桂精油对红阳猕猴桃采后两种致病菌抑制机制及其应用研究[D]. 雅安: 四川农业大学, 2019: 13-14.
- [24] 关廷均, 许俏娟, 尹燕, 等. 2型糖尿病患者糖化血红蛋白检测与糖耐量试验的诊断比较[J]. 心电图杂志(电子版), 2018, 7(1): 73-74.
- [25] 刘素欣, 张露, 崔承弼. 红景天提取物的降血糖作用研究[J]. 延边大学农学学报, 2020, 42(2): 21-26.
- [26] 史得君, 严欢, 崔清美, 等. 人参茎叶提取物对Ⅰ型糖尿病小鼠模型的影响[J]. 食品与机械, 2017, 33(7): 165-169.
- [27] EBRAHIMIAN T G, TAMARAT R, CLERGUE M, et al. Dual effect of angiotensin-converting enzyme inhibition on angiogenesis in type 1 diabetic mice [J]. Arterioscler Thromb Vasc Biol, 2005, 25(1): 65.
- [28] 齐欣, 崔承弼, 金莉英, 等. ⁶⁰Co-γ辐照红参提取物对1型糖尿病小鼠的影响[J]. 食品与机械, 2019, 35(11): 171-175.
- [29] 李斌, 杨秦, 肖洪, 等. 辐照对食品品质的影响及辐照食品的研究进展[J]. 粮食与油脂, 2019, 32(4): 4-6.
- [30] 周秀梅, 赵静宇, 王美, 等. 药用真菌桦褐孔菌多糖的降糖实验研究[J]. 山西医药杂志, 2019, 48(10): 1 163-1 166.
- [31] 董文霞. 桦褐孔菌多糖结构、硫酸化修饰及其降血糖活性研究[D]. 曲阜: 曲阜师范大学, 2018: 26-28.
- [32] 王飞雪. 发酵桦褐孔菌对2型糖尿病大鼠降血糖作用的研究[D]. 延吉: 延边大学, 2017: 11, 16-19.
- [33] 张苗, 李建宽, 葛睿, 等. 桦褐孔菌总多糖抗糖尿病作用的研究[J]. 山西医科大学学报, 2020, 51(4): 327-331.