

综述文章

桦树茸降血糖类功能食品研究

徐晟^{1,†}, 苏瑞^{2,†}, 韦帅帅¹, 章立平^{3,5}, 章文翰^{3,5}, 孙海辉⁴, 沈燕^{6,7}, 马伟^{1,*}

¹ 江南大学食品学院, 江南大学, 无锡市 214122, 江苏省, 中国

² 无锡华跃生物科技有限公司, 无锡市 214126, 江苏省, 中国

³ 无锡谷晶生物科技有限公司, 无锡 214126, 江苏省, 中国

⁴ 大海龟生命科技有限公司, 宜春市 336000, 江西省, 中国

⁵ 高安市清河油脂有限公司, 高安市 330800, 江西省, 中国

⁶ 江苏省食品质量安全重点实验室-省部共建国家重点实验室培育基地, 江苏省农业科学院, 南京市 210014, 江苏省, 中国

⁷ 公共检测评价鉴定技术中心, 江苏省农业科学院, 南京市 210014, 江苏省, 中国

* 通讯作者: 马伟, mawei209@126.com

† 徐晟和苏瑞为共同第一作者。

引用格式

徐晟, 苏瑞, 韦帅帅, 等. 桦树茸降血糖类功能食品研究. 食品营养化学. 2024; 2(3): 187.

<https://doi.org/10.18686/zhfnc.v2i3.187>

Xu S, Su R, Wei S, et al. Research on Chaga hypoglycemic functional foods (Chinese). Journal of Food Nutrition Chemistry. 2024; 2(3): 187. <https://doi.org/10.18686/zhfnc.v2i3.187>

文章信息

收稿日期: 2024-06-16

录用日期: 2024-07-22

发表日期: 2024-09-23

版权信息



版权 © 2024 作者。

《食品营养化学》由 Universe Scientific Publishing 出版。本作品采用知识共享署名 (CC BY) 许可协议进行许可。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

English edition of this article is available online at <https://cae.usp-pl.com/index.php/fnc/article/view/231>

1

摘要: 桦树茸又称桦褐孔菌 [*Inonotus obliquus* (Fr.) Pilát] 属担子菌亚门 (*Basidiomycotina*)、层菌纲 (*Hymenomycetes*)、锈革孔菌目 (*Hymenochaetales*)、锈革菌科 (*Hymenochaetaceae*)、褐卧孔菌属 (纤孔菌属) (*Inonotus*)。桦树茸为褐色的多孔菌, 多生于白桦树、银桦树等的树皮上, 在树皮破损处形成肉瘤状的菌核。桦树茸的产地主要分布在北纬40°至50°的北欧、俄罗斯西伯利亚和远东、日本北海道以及中国黑龙江和吉林的长白山地区, 因其具有抗肿瘤、降血糖、抗病毒、抗炎等多种药理活性作用, 这种药食同源的食用真菌正日益受到人们的关注。目前, 桦树茸已经成为一种极具开发潜力的功能食品原料。本文综述了桦树茸降低血糖的功能、功能成分、降血糖机理以及桦树茸功能食品的开发现状并对其未来发展做出分析与展望。

关键词: 桦树茸; 血糖; 功能性食品; 糖尿病

1. 引言

近年来, 我国糖尿病患者数量不断增加, 预计从 2020 年到 2030 年, 中国 20 至 79 岁成年人的糖尿病患病率将从 8.2% 增至 9.7%。同时, 糖尿病治疗费用将从 2020 年的 2502 亿美元增长至 4604 亿美元, 年增长率 6.32%。在此期间, 我国糖尿病费用占 GDP 的比例也将从 1.58% 增至 1.69%, 增速超过经济增长, 并且人均经济负担将从 231 美元增至 414 美元, 年增长率 6.02% [1]。面对这一挑战, 开发具有降低血糖功能的创新食品已成为功能食品产业的迫切需求。饮食干预是糖尿病管理的重要组成部分, 对糖尿病的控制具有显著影响。然而, 目前用于控制治疗糖尿病的饮食干预手段, 主要是通过多样的食物类型, 比如谷薯类 (全谷物、薯类、杂豆)、蔬菜和水果、动物性食物 (畜、禽、鱼、蛋、奶)、大豆类和坚果, 以及适量的烹调油和盐来满足身体需求并同时维持血糖稳定。但目前的实例其中降血糖类物质的应用较少, 因此具有多种降血糖类功能物质的桦树茸在饮食干预控制血糖方面的应用具有重大潜力。

桦树茸又称桦褐孔菌 [*Inonotus obliquus* (Fr.) Pilát] [2] (图 1), 具有优秀的降血糖能力, 用桦树茸作为原料来开发新型降血糖类功能性食品已成为当下研究的热点问题。桦褐孔菌主要分布在高纬度地区 [2-5] (图 2), 研究表明其含有高水平的抗氧化剂、蛋白质、矿物质、纤维和维生素 [2], 在民间医学中, 白桦茸通常作为膳食蘑菇食用。除了作为简单食品直接食用外, 它还有抗癌、抗炎、抗氧化和预防血栓形成等营养功效 [1,6-8], 其中, 桦树茸对免疫系统的总体影响及其改善II型糖尿病胰岛素抵抗表现出巨大潜力 [9]。由此可见, 开发基于桦树茸的降血糖类功能食品, 不仅有助于改善中国糖尿病患者现状, 更能减少社会用于治疗糖尿病的巨大开销, 具有重大意义。

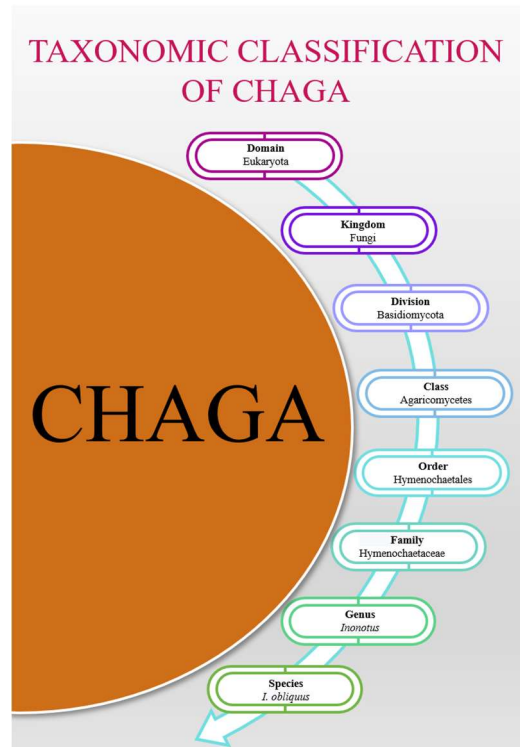


图 1. 桦树茸的分类学分类 [2]。

Figure 1. Taxonomic classification of Chaga [2].

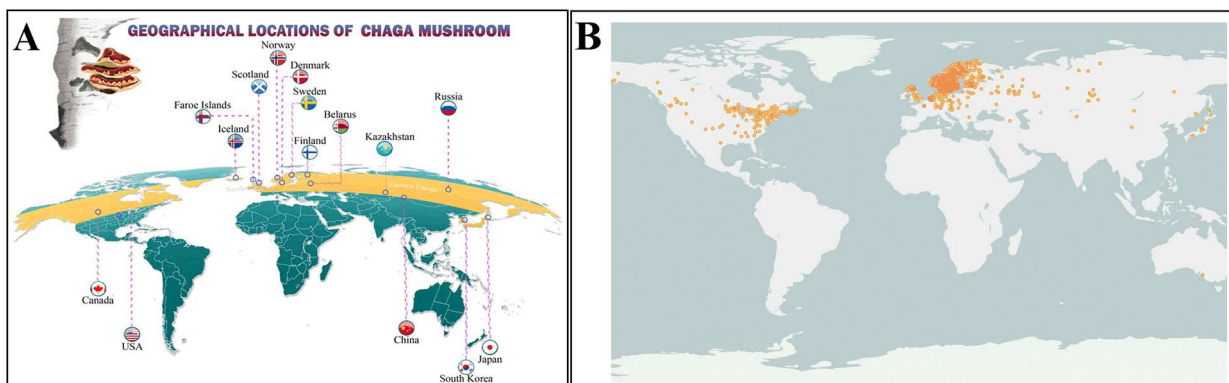


图 2. 桦树茸资源在世界的分布 [2,5]。

Figure 2. Distribution of Chaga resources around the world [2,5].

本文综述了关于桦树茸降血糖类功能食品开发的最新进展，对其含有的降血糖功能成分的种类与作用进行了探讨。此外，本文还分析了目前市面上相关产品的种类与功能。

2. 桦树茸降血糖的药理学功能

长期高血糖可引发全身多组织器官的病变，增加急慢性并发症的风险。糖尿病已成为全球第三大健康威胁，而中国由于患者数量庞大，堪称糖尿大国 [6]。近年来，相关研究证明了桦树茸具有降低血糖的功能 [10]。朱明微等以 II 型糖尿病小鼠为模型探究了复方桦树茸片降血糖作用，发现使用复方桦树茸片治疗后小鼠因 II 型糖尿病导致的消瘦症状有所减轻，其血糖得到降低 [11]。周秀梅等通过研究推断出桦树茸具有一定的修复受损胰岛 B 细胞和促进胰岛素分泌的功能 [12]。赵佳茜等则指出桦褐孔菌能够增强小鼠的葡萄糖耐受能力和胰岛素敏感能力，快速促进小鼠紊乱的糖代谢恢复正常，进而抑制糖尿病的恶化 [13]。在 Xu 等的研究中，将白桦茸提取物喂给患有糖尿病的小鼠，发现其降低了马来二醛的活性。经过组织形态学检查后，发现白桦茸提取物显著减少了受损胰腺组织的损伤 [14]。此外，研究发现从白桦茸中提取的化学成分具有降血糖作用，并揭示了其对四氧嘧啶诱导的糖尿病小鼠的降血糖和抗脂质过氧化作用机制 [15]。与此同时，相关研究还表明桦树茸具有保护糖尿病肾脏的功能，刘畅等通过小鼠实验已经发现桦褐孔菌提取物对糖尿病肾病的保护与其抗氧化损伤有关 [16]。在 Feng 等的研究中发现白桦茸是通过调节 NOS-cGMP-PDE5 信号传导改善 HFD/STZ 诱导的糖脂代谢和肾功能紊乱，并且桦树茸可以修复 HFD/STZ 诱导的肾足细胞损伤和 HFD/STZ 引起的肾功能障碍（图 3） [17]。

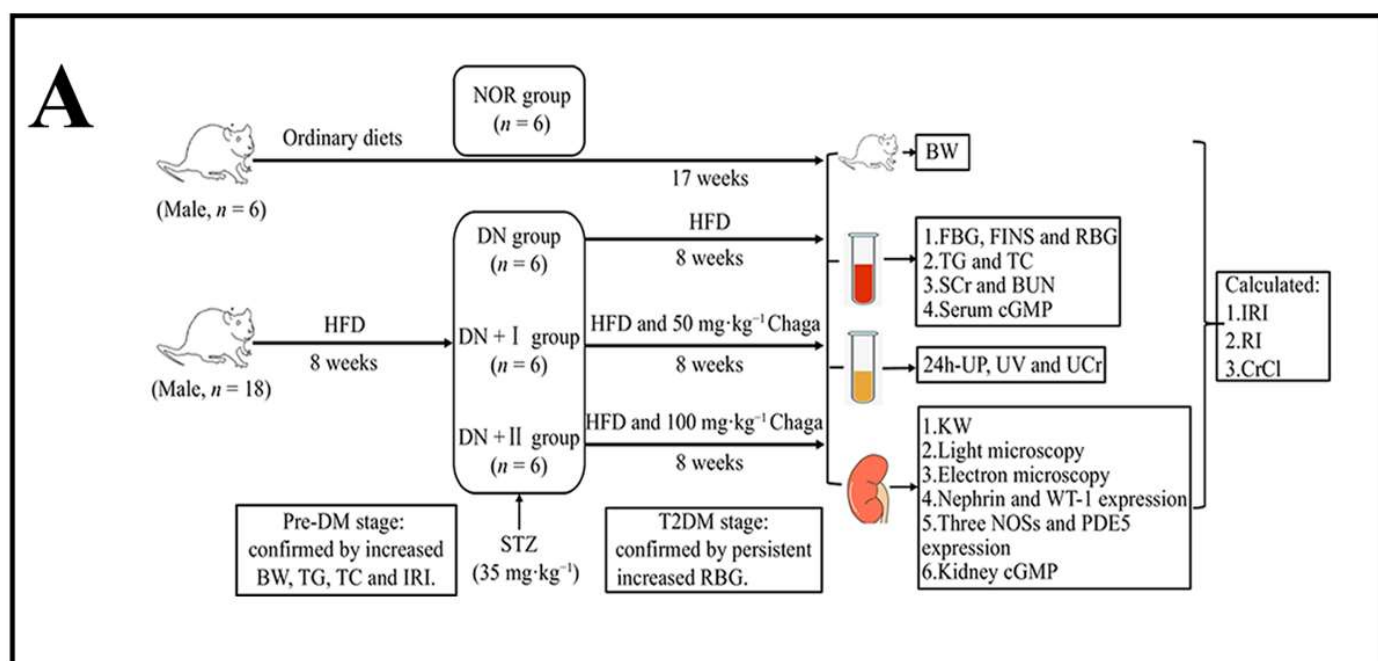


图 3. (续图)。

Figure 3. (Continued).

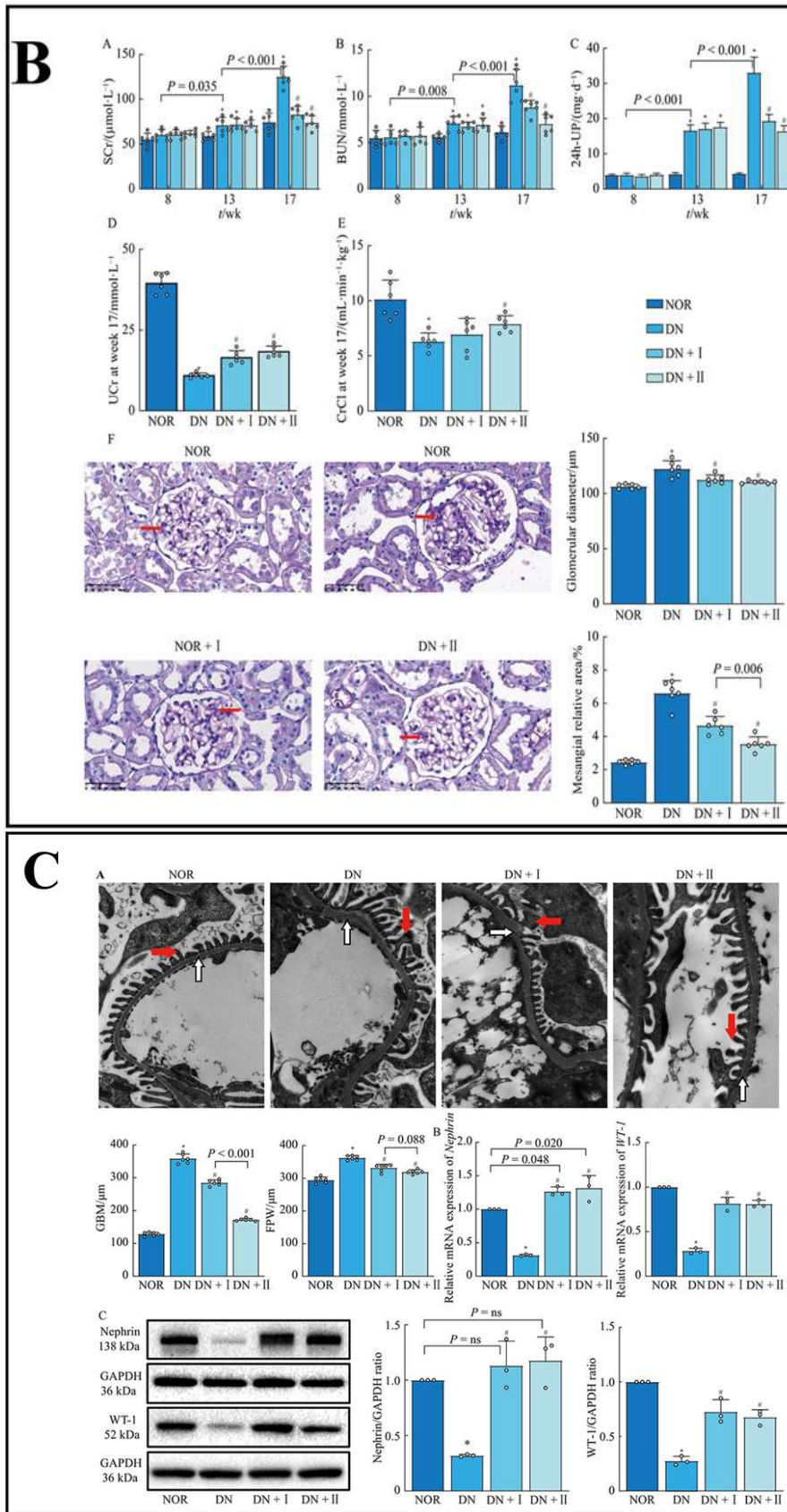


图 3. (续图)。

Figure 3. (Continued).

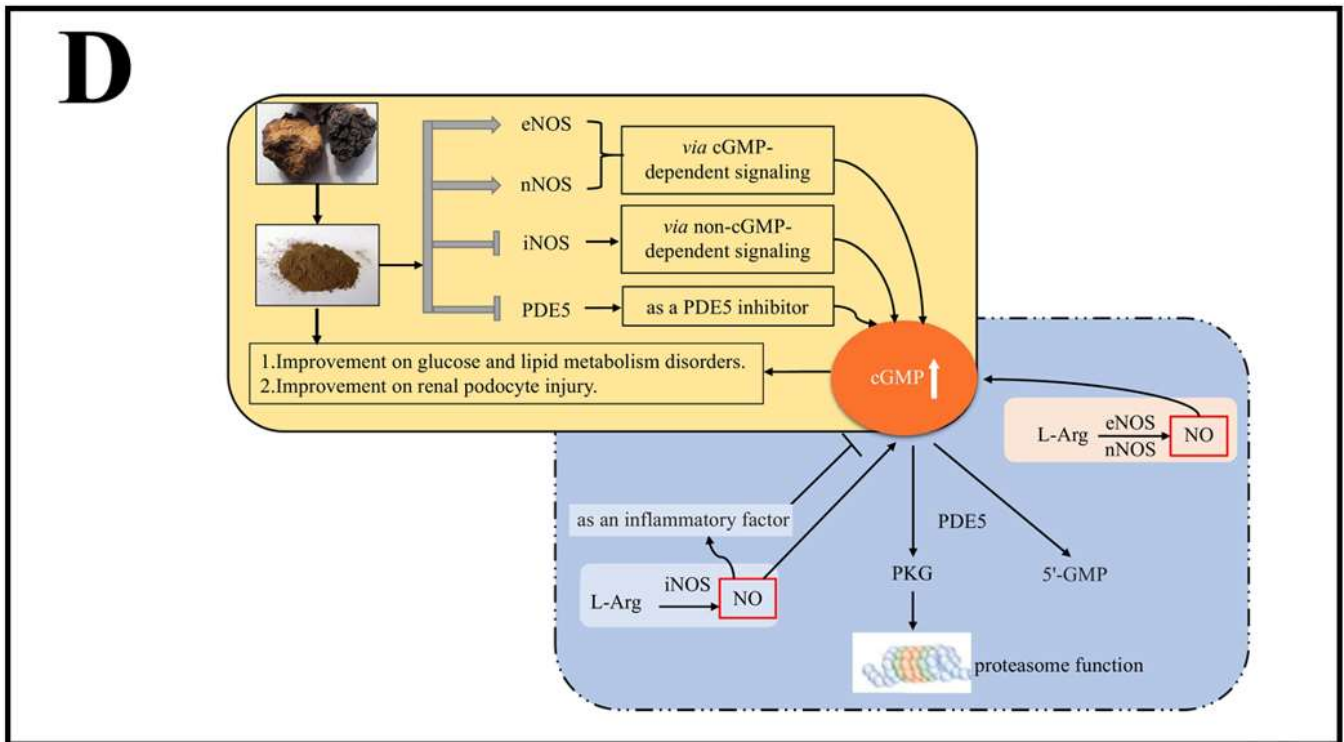


图 3. 关于桦褐孔菌 (Chaga) 通过调节 NOS-cGMP-PDE5 信号通路对抗 HFD/STZ 诱导的糖脂代谢紊乱和肾功能异常的研究。A: 实验方法; B: 肾功能指标检测和肾组织切片组织学检查; C: 白桦茸对 HFD/STZ 诱导的足细胞损伤的影响; D: 白桦茸调节糖脂代谢紊乱和肾损伤的机制, 其中 eNOS: 内皮一氧化氮合酶; nNOS: 神经一氧化氮合酶; iNOS: 诱导型一氧化氮合酶; cGMP: 环磷酸鸟苷; PDE5: 5 型磷酸二酯酶; L-Arg: L-精氨酸; NO: 一氧化氮; PKG: 激活蛋白激酶 G [17]。

Figure 3. Research on the role of Chaga in counteracting HFD/STZ-induced lipid metabolism disorders and renal dysfunction by regulating NOS-cGMP-PDE5 signaling pathway: A: experimental method; B: detection of renal function indicators and histological examination of renal tissue sections; C: effects of Chaga on HFD/STZ-induced podocyte injury; D: mechanism of Chaga in regulating lipid metabolism disorders and renal injury (eNOS: endothelial nitric oxide synthase; nNOS: neural nitric oxide synthase; iNOS: inducible nitric oxide synthase; cGMP: cyclic guanosine monophosphate; PDE5: phosphodiesterase type 5; L-Arg: L-arginine; NO: nitric oxide; and PKG: activated protein kinase G) [17].

3. 桦树茸含有的关于血糖调控的功能成分

3.1. 多糖

桦褐孔菌多糖由 L-鼠李糖、D-阿拉伯糖、D-木糖、D-甘露糖、D-葡萄糖、D-半乳糖等单糖组成, 不同离子强度的多糖, 单糖组成的摩尔比各不相同 [18]。有研究发现, 桦树茸所含的 β -葡聚糖具有多种促进人体健康改善的特性, 包括免疫调节、抗炎作用和抗氧化活性 [19]。桦树茸所含的多糖对控制血糖有重要作用, 现有研究结果表明, 多糖的降糖作用机制主要包括调节酶活性、肝糖代谢、肠道菌群、保护和调节血糖、修复胰岛细胞以及提高胰岛素敏感性 [20–24]。夏晴研究发现桦褐孔菌粗多糖及其分级醇多糖具有良好的葡萄

糖苷酶抑制作用，且均可以降低马铃薯淀粉的体外水解速率及程度 [25]。还有研究发现以桦褐孔菌多糖为主的复合多糖能在一定程度上减轻II型糖尿病小鼠“多饮多食多尿”等症状，并且还能提高胸腺指数和脾脏指数，保护肝脏和肾脏，提高肝糖原水平，降低血糖，尤其以低剂量效果最为显著 [26]。有研究结果表明，桦树茸多糖能显著恢复实验小鼠体重和脂肪重量，降低空腹血糖水平，提高糖耐量能力，增加肝糖原水平，改善胰岛素抵抗 [10,27] (图 4)。有研究发现，桦树茸多糖可以通过保护肾脏起到控制血糖的作用。桦褐孔菌多糖能够改善小鼠肾脏组织氧化应激反应的进程，保护肾脏组织的损伤和肿大情况，缓解肾脏组织的病理学变化，改善因炎症造成的肾小球形变和细胞核空核等症状，缓解尿糖尿蛋白症状，从而改善并增强肾功能 [16]。Wang 等发现桦树茸多糖及其铬络合物能够有效抑制非酶糖基化末端终产物的形成，同时抑制 α -淀粉酶、 α -葡萄糖苷酶及胰脂肪酶的活性，从而展现出一定的餐后血糖调节能力及降脂潜力。并且，桦树茸多糖及其铬络合物还可以通过提高细胞活力、抑制形态改变和维持线粒体完整性来显著保护肝脏 L02 细胞免受过氧化氢诱导的氧化损伤，尤其是其铬络合物，可显著缓解氧化应激和低血糖引起的肝、肾、胰腺组织损伤。在 Wang 等最新的研究中发现桦树茸及其多糖产物对患糖尿病肾病 (diabetic kidney disease, DKD) 小鼠的肾脏具有保护作用 [28–30] (图 5)。这些结果表明桦树茸多糖及其铬络合物的潜在抗糖尿病机制可能与血糖的稳态和内源性抗氧化系统的恢复有关 [31,32] (图 6)。更重要的是，桦褐孔菌对于正常小鼠的血糖和糖耐量无明显影响 ($p > 0.05$)，具有一定安全性 [33]，并且桦树茸多糖具有显著的抗糖尿病作用，有望成为糖尿病临床治疗领域的潜在候选药物 [34]。

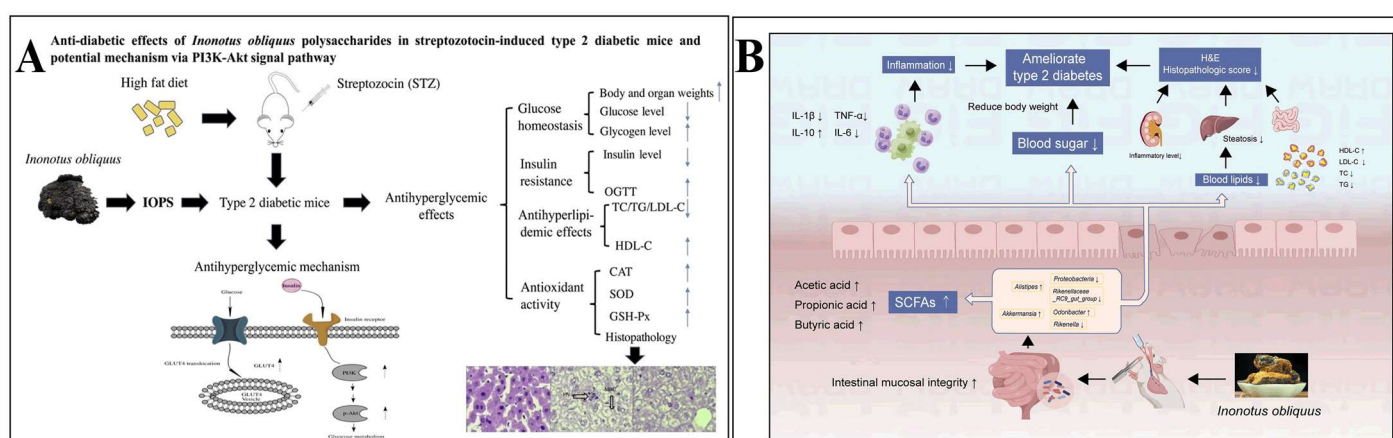


图 4. A: 桦树茸多糖通过 PI3K-Akt 信号通路对于 II 型糖尿病小鼠的降血糖作用的潜在机制 [10]。B: 桦树茸对于糖尿病小鼠的降低体重和空腹血糖的影响以及缓解糖尿病小鼠肠、肝、肾、胰器官的病变程度的机制 [27]。

Figure 4. A: Potential mechanism of Chaga polysaccharide's hypoglycemic effect on Type II diabetic mice via PI3K-Akt signaling pathway [10]. B: Chaga's effects on reducing body weight and fasting blood glucose in diabetic mice and its mechanism of alleviating the degree of pathological changes in the intestine, liver, kidney, and pancreas of diabetic mice [27].

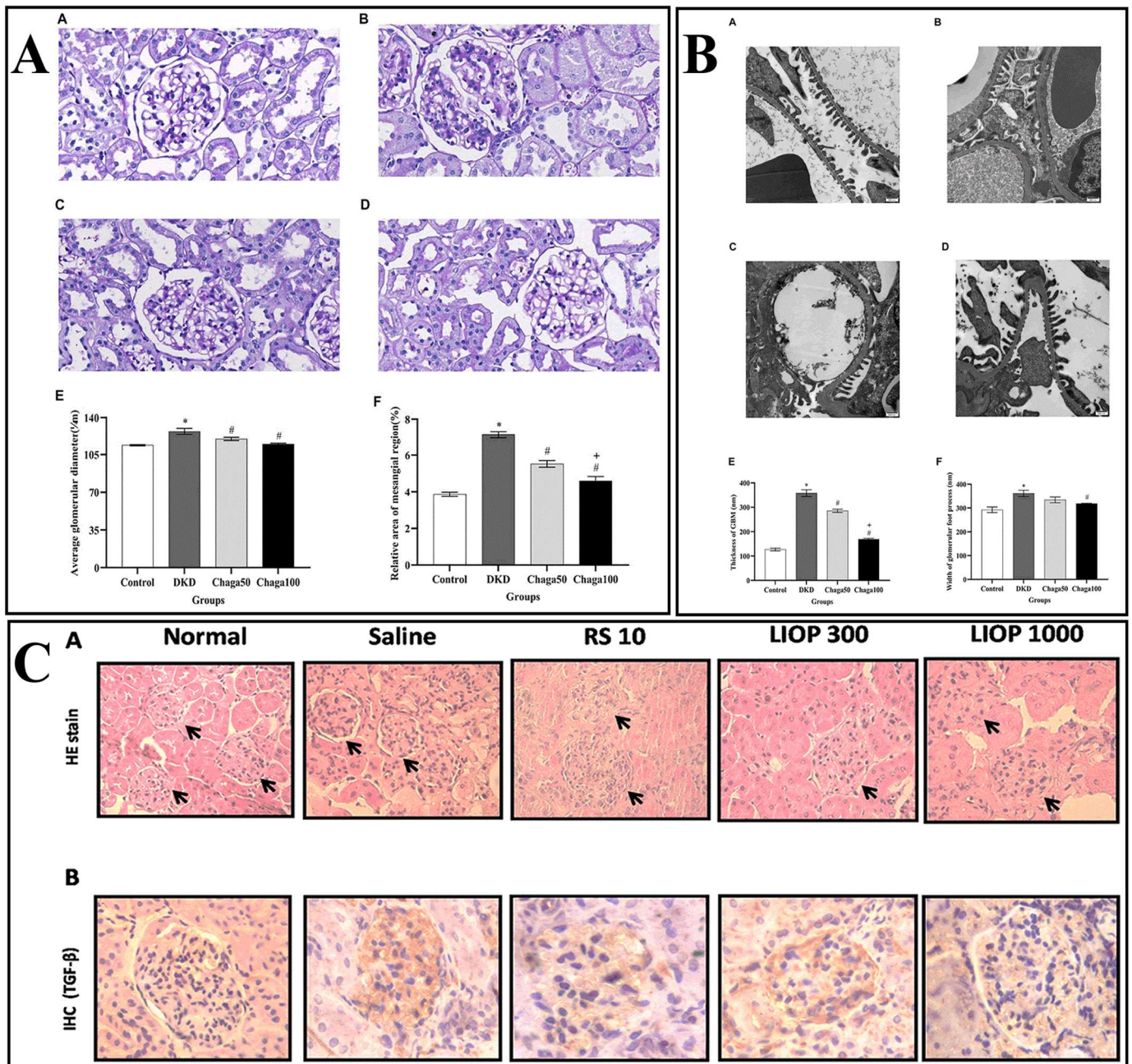


图 5. A: 光镜下桦树茸对 DKD 大鼠模型病理参数的影响。**B:** 电子显微镜下桦树茸对 DKD 大鼠模型病理参数的影响。**C:** 对患有 HFD+STZ 诱导的糖尿病肾病的 C57BL/6 小鼠在 LIOP (300 mg/kg 和 1000 mg/kg) 和罗格列酮 (10 mg/kg) 治疗后的肾皮质的组织病理学研究进行了检查, 与生理盐水组的效果进行了比较, 交替在 8 周时进行 [29,30]。

Figure 5. A: Effects of Chaga on pathological parameters of DKD rat model under light microscopy. **B:** Effects of Chaga on pathological parameters of DKD rat model under electron microscope. **C:** Histopathological study of renal cortex of C57BL/6 mice with HFD+STZ-induced diabetic nephropathy examined after treatment with LIOP (300 and 1000 mg/kg) and rosiglitazone (10 mg/kg), compared with the effect of saline group, alternating at eight weeks [29,30].

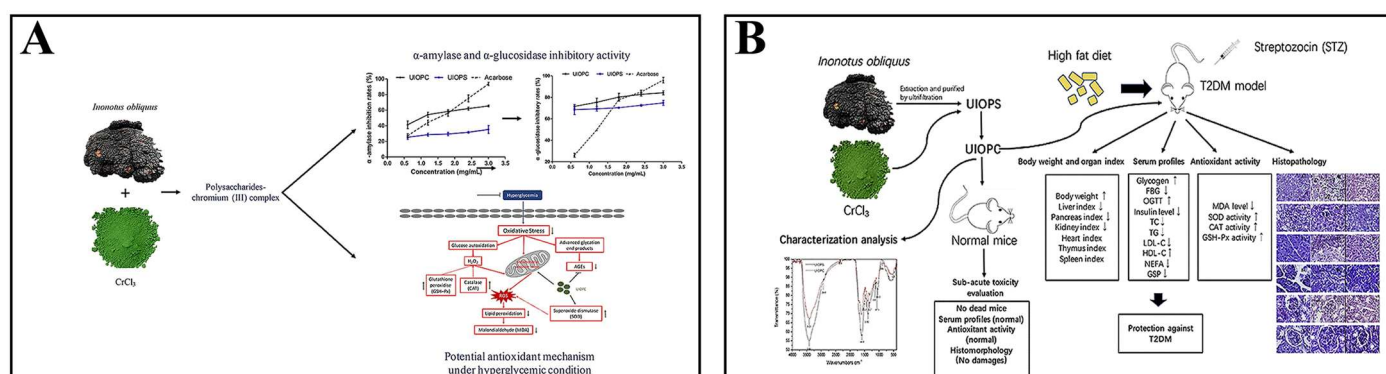


图 6. A: 桦树茸多糖及其铬络合物对肝 L02 细胞中晚期糖基化终产物形成、 α -淀粉酶、 α -葡萄糖苷酶活性和过氧化氢导致的细胞氧化损伤的影响 [31]。B: 桦树茸多糖铬络合物对 STZ 诱导的 T2DM 小鼠的抗糖尿病能力的影响 [32]。

Figure 6. A: Effects of Chaga polysaccharides and its chromium complex on formation of advanced glycation end products, α -amylase activities, α -glucosidase activities, and hydrogen-peroxide-induced cell oxidative damage in liver L02 cells [31]. B: Effects of Chaga polysaccharides and chromium complex on anti-diabetic ability of STZ-induced T2DM mice [32].

3.2. 多酚类化合物

蘑菇多酚对人体具有多方面的有益作用：抗癌、抗氧化、降血糖、延缓衰老、预防神经系统退行性疾病和心血管疾病 [35]。桦树茸的多酚含量普遍超过了其他数菌类，其中，白桦茸 (*Inonotus obliquus* (Ach. Ex Pers.) Pilát) 的总酚含量为 $97 \mu\text{mol GAE}/\text{mg}$ [36]，在众多药用蘑菇中是多酚含量最高、抗氧化效果最好的菌类。桦褐孔菌多酚是一种具有多元酚结构的次生代谢产物，具有良好的抗氧化活性 [18] 和降血糖的能力 [37]。董琦通过大孔树脂分离出九种多酚类物质，分别为无色花色素、花旗松素-3-O- α -L-吡喃鼠李糖苷、仙茅苷、像黄素-3-O-己糖苷、7-木糖苷儿茶酚、雪胆素乙、桔皮素、儿茶素、芦丁 [38]。进一步的研究结果则表明桦树茸子实体还含有香豆酸、阿魏酸、野漆树甙、异野漆树甙等多酚 [39]。另据研究报道，白桦茸还含 4-羟基 3,5 二甲氧基苯甲酸、2-羟基-1-羟甲基乙酯、原儿茶酸、咖啡酸、3,4 二羟基苯甲醛、2,5-二羟基对苯二甲酸、丁香酸和 3,4-二羟基苯亚丙酮等多酚类物质 [40]。而 Peng 和 Shahidi 通过分析白桦茸的乙醇提取物，检测到 111 种不同的酚类化合物，包括酚酸、类黄酮、香豆素、醌和苯乙烯基吡喃酮 [41]。综合来看，桦树茸所含的多酚主要分为四大类：黄酮类、酚酸类、黄酮类异构体以及其他多酚类，其中黄酮类化合物和酚酸，其主要的降血糖作用机制是抑制 α -葡萄糖苷酶和 α -淀粉酶，因为 α -葡萄糖苷酶和 α -淀粉酶这两种酶是将膳食碳水化合物消化成葡萄糖的关键酶 [42,43]，所以一旦这两种酶的活性被抑制，那么血液中的葡萄糖含量就会降低；同时，也有研究表明酚酸刺激葡萄糖摄取的效果与二甲双胍和噻唑烷二酮（主要的常见口服降糖药）相当 [44]，表明其降血糖能力十分显著。由此可见，桦树茸所含的多酚可以有效地抑制血糖升高。

3.3. 三萜类化合物

三萜类化合物对控制血糖有积极作用，研究发现，桦褐孔菌中含有的多种三萜类化合物 [45]，主要为羊毛脂烷型、齐墩果烷型和羽扇豆烷型 3 种类型 [46]。另据研究报道，桦褐孔菌发酵活性产物主要为桦褐孔菌萜和白桦脂酸，从桦褐孔菌子实体中经过提取、分离、纯化和鉴定，得到了羊毛甾醇、桦褐孔菌醇和栓菌酸。桦褐孔菌子实体中的羊毛甾醇、桦褐孔菌醇、栓菌酸和菌丝体中的桦褐孔菌萜对 α -葡萄糖苷酶和 α -淀粉酶有一定抑制作用 [47]，其作用机制为桦褐孔菌三萜类化合物对 α -葡萄糖糖苷酶产生了竞争性抑制，对 α -淀粉酶产生了非竞争性与竞争性抑制混合抑制 [47]。此外，桦树茸还含有曲马多酸 (Tramadol acid, TA)、吲哚二醇、桦木酸 (Betulinic acid, BA) 等三萜类化合物。基于目前的广泛研究结果，BA 已被证明具有降血糖作用和多种免疫调节活性，并且 BA 还可促进瘦素和胰岛素的分泌 [48]。研究人员根据市面上的降糖药物阿卡波糖的降糖原理——通过抑制 α -葡萄糖苷酶与 α -淀粉酶活性延长碳水化合物分解成葡萄糖的时间 [49]，对桦褐孔菌三萜类化合物的 α -葡萄糖苷酶抑制率与 α -淀粉酶抑制率进行了测定，实验发现其对 α -葡萄糖苷酶和 α -淀粉酶均具有一定的抑酶活性，其中，白桦脂酸对 α -葡萄糖苷酶的活性抑制 IC_{50} 值为 0.26 mg/mL，显著低于降糖药物阿卡波糖的活性抑制 IC_{50} 值 (0.37 mg/mL)，桦褐孔菌萜 D 对 α -淀粉酶的活性抑制 IC_{50} 值为 7.86 mg/mL，显著低于降糖药阿卡波糖 IC_{50} 值 (10.51 mg/mL) [47]。

4. 桦树茸降血糖类食品开发

4.1. 桦树茸的资源现状

桦褐孔菌的菌丝体具有耐寒和抗冻的特性，可以在 $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的高寒地区存活 [50]。我国桦褐孔菌主要分布在吉林长白山、黑龙江大小兴安岭以及内蒙古等寒冷地区 [51]，另外在华北、西北和华南地区也有发现，山西省农业科学院在山西吕梁山的中段和南段地区发现了桦褐孔菌。通过对其形态特征、生长环境和品质进行综合分析，发现这些区域的桦褐孔菌在形态上与大兴安岭的同类真菌相似，尽管生长环境存在显著差异，但品质上两者不相上下 [52]。

桦树茸在自然状态下生长十分缓慢，一般要经过 10–15 年才能形成有药理活性的菌核，并且菌丝体的宿主物种和培养基类型都会影响获得的生物质中生物活性物质的含量 [53]。由此可见，野生桦褐孔菌不是可靠的天然药物资源 [54]。然而，桦褐孔菌菌株适应能力较强，可在常规的培养基上生长，从而获取大量菌丝体和发酵产物 [55,56]。目前，国内普遍使用液体深层发酵的方法来获得桦树茸及其产物。液体深层发酵技术是现代生物技术重要组成部分，液体深层发酵技术是 20 世纪 40 年代 Gaden 等设计出的培养微生物的生物反应器 [57]。这一技术有着众多的优点，包括生产时间短，产物量大、方便、条件限制较少（季节和温度）、减少杂菌污染等。相关研究也证明了液体深层发酵产生的发酵液多糖和菌丝体多糖不论是含量还是生物活性，均高于或等同于野生

子实体，这与许多药用真菌多糖都以深层发酵获取的经验相符 [58]。闫舒雅研究发现在此发酵方法下，桦褐孔菌发酵液最佳优化条件为葡萄糖 30 g/L，蛋白胨 4 g/L，牛肉膏 8 g/L。在该条件下，桦褐孔菌的生物量和多糖产量最高 [59]。近年来，单纯靠发酵条件优化或培养基改进难以满足未来的发展需求，加入外源诱导剂刺激菌丝体的生长和次级代谢产物的积累则越来越受到人们的重视 [60]。例如，Ping 对比含不同维生素（VB-6、VB-1）的培养基中桦褐孔菌菌丝体和多糖产量，结果表明含 VB-6 的培养基具有较高的菌丝体和多糖产量（4 $\mu\text{g/mL}$ ） [50]；Lou 等发现油酸和真菌激发子可以增加深层培养物中白桦脂酸的产生并促进菌丝体的生长 [61]；还有研究发现将粉碎的秸秆和玉米加入桦褐孔菌的培养基中，可以大大地提高桦褐孔菌低分子量多糖（29 kDa）的产量，且发现该多糖具有较高的抗氧化活性 [62]。最新研究表明，在高 pH 值和 100 °C 的条件下，SWP（Swiss water process）是提取白桦茸中真菌营养素和功能成分的潜在有效方法 [63]。此外，根据 Huynh 的报道，利用 Folch 法提取三萜类化合物能够获得更高的总产率 [64]。

4.2. 桦树茸降血糖类相关食品开发现状

桦褐孔菌因具有多种药理作用，已被广泛应用于临床治疗和医药领域 [42]。然而，有关桦褐孔菌在食品和保健品方面的制备工艺报道不多，我国还没有成熟的桦褐孔菌食品和相关保健产品 [65]。然而，随着近年来的深入研究以及科技水平的提升，也有不少企业或研究者尝试了相关功能性食品的开发 [66]（桦树茸功能食品开发流程见图 7）。在日本，消费者多青睐桦褐孔菌粉制成的茶饮，因为这种饮用方式不仅简便，而且能有效降低血糖水平、增强免疫力，非常适合现代快节奏生活中的健康养生需求 [50]。在韩国，通过将桦褐孔菌提取物融入饼干、糖果等日常食品中，为消费者提供一种健康便捷的食用方式 [67]。在我国，王磊鑫等通过优化实验，研制出了桦树茸乳酸菌饮料 [68]。由于桦褐孔菌的降血糖、提高免疫力和抗疲劳等广泛的药理活性，桦褐孔菌所产的多糖类化合物在俄罗斯、中国和美国被用于功能性食品和保健产品的开发。在回顾亚马逊、淘宝等主要电商平台上的桦树茸相关产品后，我们注意到市场上最流行的产品类型包括保健品、茶饮、酊剂等。其中，一些健康食品被称为天然胰岛素，如 Sorlife Chaga 胶囊、IOPS 茶、片剂等，已经成功登陆电商平台。为了满足消费者对产品质量的期望，并提升制造商的品牌信誉，制造商应该考虑采纳 ISO22000:2018 食品安全管理体系和危害分析与关键控制点（Hazard analysis and critical control points, HACCP）等国际认可的质量控制标准 [69]。

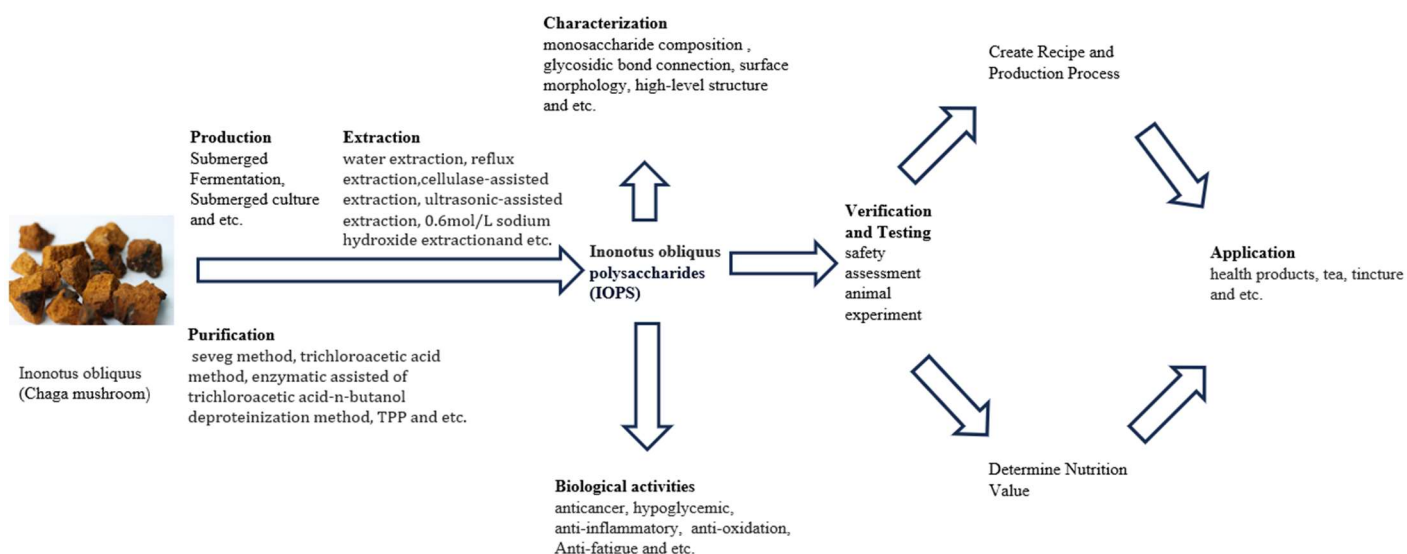


图 7. 桦树茸多糖类功能食品开发的流程 [66]。

Figure 7. Process of developing Chaga polysaccharide functional foods [66].

4.3. 桦树茸降血糖类功能食品开发展望

桦树茸的降血糖药理功能已得到广泛证实，鉴于当今世界上糖尿病发病率的提升，针对降血糖类的桦树茸功能食品的开发也必将受到更多的关注。随着人们对健康饮食要求的提高，桦树茸功能食品开发也伴随着更大的商机。目前市场上已经出现了不少桦树茸类功能食品，其中不少的品牌都标注了其拥有调控血糖的功能。然而，这些商品大部分都是国外品牌，这意味着在中国想要获取桦树茸类的功能食品渠道有限并且价格昂贵，大量的市场空缺也必将吸引国内的功能食品开发商开发相应产品。关于国内桦树茸食品开发，为了向消费者提供更有效的降血糖类桦树茸功能食品，其降血糖类活性成分应受到更加详细的研究，其相关的生物活性物质提取工艺也需要进一步优化创新；此外，关于桦树茸提取物的安全性还需要进一步的研究认证；最后，作为预防糖尿病生活方式的一部分，使用个性化工具来促进行为改变也至关重要 [70–72]。未来，桦树茸功能食品的开发应当与更多科学领域相结合，以充分挖掘并发挥其生理学潜力。鉴于消费者需求和期望的多样性，功能性食品设计、技术开发和营销策略的制定变得尤为关键 [73]，未来的桦树茸功能食品开发也将更加关注消费者个体的特定需求。综合当前诸多报道，可以预见，桦树茸功能食品拥有广阔的市场前景。

5. 总结

本文综述了桦树茸降血糖的生理功能以及其有利于血糖调控的活性物质，对桦树茸的资源现状以及相关功能性食品开发的进展做出了总结，并在最后对其未来发展做出了展望。同时，本文也承认，关于桦树茸所含的全部降血糖类活性物质并没有得到充分的研究，还需要进行进一步得研究，而关于桦树茸活性物质的提取工艺的优化也将会是未来研究的一个重要方向。目前，已经有几

类桦树茸类功能食品实现了工业化的生产，但针对专门用于降血糖的桦树茸功能食品的工业化生产还有不少技术问题需要克服。

基金项目：本工作受到江苏省自然科学基金杰出青年基金项目（BK20211530）、江西省宜春市重点研发专项（2023ZDYFZX06）、中央高校基本科研业务费专项资金（JUSRP62218）支持。

利益冲突：本文章作者声明没有任何利益冲突。

参考文献

1. Rhee SJ, Cho SY, Kim KM, et al. A comparative study of analytical methods for alkali-soluble β -glucan in medicinal mushroom, Chaga (*Inonotus obliquus*). LWT - Food Science and Technology. 2008; 41(3): 545-549. doi: 10.1016/j.lwt.2007.03.028
2. Fordjour E, Manful CF, Javed R, et al. Chaga mushroom: A super-fungus with countless facets and untapped potential. Frontiers in Pharmacology. 2023; 14. doi: 10.3389/fphar.2023.1273786
3. 李姝宇. 桦树茸的化学成分和药理作用的研究进展. 大医生. 2017; 2(05): 66, 88. doi: 10.19604/j.cnki.dys.2017.05.039
Li S. Research progress on chemical components and pharmacological effects of Chaga (Chinese). Doctor. 2017; 2(05): 66, 88. doi: 10.19604/j.cnki.dys.2017.05.039
4. 刘艺珠, 宋冠洁, 郭苗苗, 等. 桦树茸活性成分及药理活性研究进展. 中医药导报. 2023; 29(01): 96-104. doi: 10.13862/j.cn43-1446/r.2023.01.018
Liu Y, Song G, Guo M, et al. Research progress of active ingredients and pharmacological activity of Chaga mushroom (Chinese). Guiding Journal of Traditional Chinese Medicine and Pharmacy. 2023; 29(01): 96-104. doi: 10.13862/j.cn43-1446/r.2023.01.018
5. W. Thomas P, Ahmed Elkhateeb W, Daba GM. Chaga (*Inonotus obliquus*): A medical marvel but a conservation dilemma? Sydowia—An International Journal of Mycology. 2020; (72): 123-130. doi: 10.12905/0380.sydowia72-2020-0123
6. 张新宇, 张彦龙. 桦树茸有效成分及生物活性应用现状. 高原农业. 2018; 2(5): 549-557. doi: 10.19707/j.cnki.jpa.2018.05.015
Zhang X, Zhang Y. Application status of active ingredients and bioactivities of Betula (Chinese). Journal of Plateau Agriculture. 2018; 2(5): 549-557. doi: CNKI:SUN:GYNY.0.2018-05-015
7. Lindequist U, Niedermeyer THJ, Jülich WD. The pharmacological potential of mushrooms. Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine. 2000; 2(3): 285-299. doi: 10.1093/ecam/neh107
8. Abu-Reidah IM, Critch AL, Manful CF, et al. Effects of pH and temperature on water under pressurized conditions in the extraction of nutraceuticals from Chaga (*Inonotus obliquus*) mushroom. Antioxidants. 2021; 10(8): 1322. doi: 10.3390/antiox10081322
9. Géry A, Dubreule C, André V, et al. Chaga (*Inonotus obliquus*), a future potential medicinal fungus in oncology? A chemical study and a comparison of the cytotoxicity against human lung adenocarcinoma cells (A549) and human bronchial epithelial cells (BEAS-2B). Integrative Cancer Therapies. 2018; 17(3): 832-843. doi: 10.1177/1534735418757912
10. Wang J, Wang C, Li S, et al. Anti-diabetic effects of *Inonotus obliquus* polysaccharides in streptozotocin-induced type 2 diabetic mice and potential mechanism via PI3K-Akt signal pathway. Biomedicine & Pharmacotherapy. 2017; 95: 1669-1677. doi: 10.1016/j.biopha.2017.09.104
11. 朱明微, 苗利, 李鑫, 王柳婷. 复方桦树茸片的制备及其对糖尿病小鼠降血糖作用研究. 特产研究. 2022; 44(6): 44-49. doi: 10.16720/j.cnki.tcyj.2022.181
Zhu M, Miao L, Li X, Wang L. Preparation of compound *Inonotus obliquus* tablets and its hypoglycemic effect on diabetic mice (Chinese). Special Wild Economic Animal and Plant Research. 2022; 44(6): 44-49. doi: 10.16720/j.cnki.tcyj.2022.181
12. 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. 山西医药杂志. 2019; 48(10): 1163-1166. doi: CNKI:SUN: SXYY.0.2019-10-009

- Zhou X, Zhao J, Wang M, et al. Experimental study on hypoglycemic effect of polysaccharide from medicinal fungus *Inonotus obliquus* (Chinese). *Shanxi Medical Journal*. 2019; 48(10): 1163-1166. doi: CNKI:SUN:XYYY.0.2019-10-009
13. 赵佳茜, 朱长俊, 刘兰, 等. 桦褐孔菌多糖对小鼠的降血糖研究. *生物化工*. 2021; 7(4): 99-102.
Zhao J, Zhu C, Liu L, et al. Study on hypoglycemic effect of polysaccharides from *Inonotus obliquus* on mice (Chinese). *Biological Chemical Engineering*. 2021; 7(4): 99-102.
14. Xu X, Pang C, Yang C, et al. Antihyperglycemic and antilipidperoxidative effects of polysaccharides extracted from medicinal mushroom Chaga, *Inonotus obliquus* (Pers.: Fr.) Pilát (Aphyllophoromycetidae) on alloxan-diabetes mice. *International Journal of Medicinal Mushrooms*. 2010; 12(3): 235-244. doi: 10.1615/intjmedmushr.v12.i3.20
15. Lu X, Chen H, Dong P, et al. Phytochemical characteristics and hypoglycaemic activity of fraction from mushroom *Inonotus obliquus*. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2009; 90(2): 276-280. doi: 10.1002/jsfa.3809
16. 刘畅, 崔敬爱, 王思霖, 等. 桦褐孔菌多糖对糖尿病肾病小鼠肾脏的保护作用. *食品工业科技*. 2021; 42(2): 321-325. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2020050108
Liu C, Cui J, Wang S, et al. Protective effect of *Inonotus obliquus* polysaccharides on kidneys of diabetic kidney disease mice (Chinese). *Science and Technology of Food Industry*. 2021; 42(2): 321-325. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2020050108
17. Feng Y, Liu J, Gong L, et al. *Inonotus obliquus* (Chaga) against HFD/STZ-induced glucolipid metabolism disorders and abnormal renal functions by regulating NOS-cGMP-PDE5 signaling pathway. *Chinese Journal of Natural Medicines*, 2024, 22(7): 619-631. doi: 10.1016/S1875-5364(24)60616-3
18. 王聪. 桦褐孔菌中降血糖活性物质基础的研究 [博士学位论文]. 天津大学; 2018. doi: 10.27356/d.cnki.gtjdu.2018.002924
Wang C. Study on the basis of hypoglycemic active substances in *Inonotus obliquus* (Chinese) [PhD thesis]. Tianjin University; 2018. doi: 10.27356/d.cnki.gtjdu.2018.002924
19. Zhu F, Du B, Bian Z, et al. Beta-glucans from edible and medicinal mushrooms: Characteristics, physicochemical and biological activities. *Journal of Food Composition and Analysis*. 2015; 41: 165-173. doi: 10.1016/j.jfca.2015.01.019
20. Luan F, Ji Y, Peng L, et al. Extraction, purification, structural characteristics and biological properties of the polysaccharides from *Codonopsis pilosula*: A review. *Carbohydrate Polymers*. 2021; 261: 117863. doi: 10.1016/j.carbpol.2021.117863
21. Virgen-Carrillo CA, Martínez Moreno AG, Valdés Miramontes EH. Potential hypoglycemic effect of pomegranate juice and its mechanism of action: A systematic review. *Journal of Medicinal Food*. 2020; 23(1): 1-11. doi: 10.1089/jmf.2019.0069
22. Guo M, Shao S, Wang D, et al. Recent progress in polysaccharides from *Panax ginseng* C. A. Meyer. *Food & Function*. 2021; 12(2): 494-518. doi: 10.1039/d0fo01896a
23. He P, Zhang Y, Li N. The phytochemistry and pharmacology of medicinal fungi of the genus *Phellinus*: A review. *Food & Function*. 2021; 12(5): 1856-1881. doi: 10.1039/d0fo02342f
24. Shen J, Hu M, Tan W, et al. Traditional uses, phytochemistry, pharmacology, and toxicology of *Coreopsis tinctoria* Nutt.: A review. *Journal of Ethnopharmacology*. 2021; 269: 113690. doi: 10.1016/j.jep.2020.113690
25. 夏晴. 桦褐孔菌体内降血糖作用评估及其有效成分的鉴定 [硕士学位论文]. 华中农业大学; 2020. doi: 10.27158/d.cnki.ghznu.2020.001254
Xia Q. Evaluation of the hypoglycemic effect of *Inonotus obliquus* in vivo and in vitro and identification of its active ingredients (Chinese) [Master's thesis]. Huazhong Agricultural University; 2020. doi: 10.27158/d.cnki.ghznu.2020.001254
26. 邵珠领, 张宇, 万国靖, 等. 以桦褐孔菌为主的复合多糖降糖活性研究. *广东化工*. 2017; 44(16): 14-15. doi: CNKI:SUN:GDHG.0.2017-16-007
Shao Z, Zhang Y, Wan G, et al. Study on the hypoglycemic activity of complex polysaccharides based on *Inonotus obliquus* (Chinese). *Guangdong Chemical Industry*. 2017; 44(16): 14-15. doi: CNKI:SUN:GDHG.0.2017-16-007
27. Ye X, Wu K, Xu L, et al. Methanol extract of *Inonotus obliquus* improves type 2 diabetes mellitus through modifying intestinal flora. *Frontiers in Endocrinology*. 2023; 13. doi: 10.3389/fendo.2022.1103972
28. Wang S, Wang R, Li R, et al. Research progress on application of *Inonotus obliquus* in diabetic kidney disease. *Journal of Inflammation Research*. 2023; 16: 6349-6359. doi: 10.2147/jir.s431913
29. Zhang Y, Liao H, Shen D, et al. Renal protective effects of *Inonotus obliquus* on high-fat diet/streptozotocin-induced diabetic kidney disease rats: Biochemical, color Doppler ultrasound and histopathological evidence. *Frontiers in Pharmacology*. 2022; 12. doi: 10.3389/fphar.2021.743931

30. Chou YJ, Kan WC, Chang CM, et al. Renal protective effects of low molecular weight of *Inonotus obliquus* polysaccharide (LIOP) on HFD/STZ-induced nephropathy in mice. *International Journal of Molecular Sciences*. 2016; 17(9): 1535. doi: 10.3390/ijms17091535
31. Wang C, Gao X, Santhanam RK, et al. Effects of polysaccharides from *Inonotus obliquus* and its chromium (III) complex on advanced glycation end-products formation, α -amylase, α -glucosidase activity and H₂O₂-induced oxidative damage in hepatic L02 cells. *Food and Chemical Toxicology*. 2018; 116: 335-345. doi: 10.1016/j.fct.2018.04.047
32. Wang C, Chen Z, Pan Y, et al. Anti-diabetic effects of *Inonotus obliquus* polysaccharides-chromium (III) complex in type 2 diabetic mice and its sub-acute toxicity evaluation in normal mice. *Food and Chemical Toxicology*. 2017; 108: 498-509. doi: 10.1016/j.fct.2017.01.007
33. Sun J, Xu H, Ao Z, et al. Study on the hypoglycemic effect of *Inonotus obliquus* and *Tricholoma matsutake* powder (Chinese). *Natural Product Research and Development*. 2009; 21(2): 339-342. doi: 10.16333/j.1001-6880.2009.02.040
34. 孙军恩, 许泓瑜, 敖宗华, 等. 桦褐孔菌与松口蘑菌粉降血糖作用的研究. *天然产物研究与开发*. 2009; 21(2): 339-342. doi: 10.16333/j.1001-6880.2009.02.040
Sun J, Xu H, Ao Z, et al. Study on the hypoglycemic effect of *Inonotus obliquus* and *Tricholoma matsutake* powder (Chinese). *Natural Product Research and Development*. 2009; 21(2): 339-342. doi: 10.16333/j.1001-6880.2009.02.040
35. Das AK, Nanda PK, Dandapat P, et al. Edible mushrooms as functional ingredients for development of healthier and more sustainable muscle foods: A flexitarian approach. *Molecules*. 2021; 26(9): 2463. doi: 10.3390/molecules26092463
36. Sharpe E, Farragher-Gnadt AP, Igbunugo M, et al. Comparison of antioxidant activity and extraction techniques for commercially and laboratory prepared extracts from six mushroom species. *Journal of Agriculture and Food Research*. 2021; 4: 100130. doi: 10.1016/j.jafr.2021.100130
37. 裴河欢, 张美凤, 覃洋琛, 等. 多酚类化合物药理作用研究进展. *中国药业*. 2022; 31(23): 124-127. doi: 10.3969/j.issn.1006-4931.2022.23.030
Pei H, Zhang M, Qin Y, et al. Research progress on pharmacological effects of polyphenols (Chinese). *China Pharmaceuticals*. 2022; 31(23): 124-127. doi: 10.3969/j.issn.1006-4931.2022.23.030
38. 董琦, 高珊, 曹龙奎. 大孔树脂纯化桦褐孔菌多酚及其成分分析. *食品科学*. 2015; 36(22): 131-136. doi: 10.7506/spkx1002-6630-201522024
Dong Q, Gao S, Cao L. Purification of polyphenols from *Inonotus obliquus* by macroporous resin and analysis of its components (Chinese). *Food Science*. 2015; 36(22): 131-136. doi: 10.7506/spkx1002-6630-201522024
39. 朱金卫, 徐向群. 桦褐孔菌多酚的液体深层制备及抗氧化活性研究. *浙江理工大学学报*. 2011; 28(4): 616-620. doi: 10.3969/j.issn.1673-3851.2011.04.028
Zhu J, Xu X. Liquid deep preparation and antioxidant activity of *Inonotus obliquus* polyphenols (Chinese). *Journal of Zhejiang Sci-Tech University*. 2011; 28(4): 616-620. doi: 10.3969/j.issn.1673-3851.2011.04.028
40. Nakajima Y, Sato Y, Konishi T. Antioxidant small phenolic ingredients in *Inonotus obliquus* (persoon) Pilat (Chaga). *Chemical and Pharmaceutical Bulletin*. 2007; 55(8): 1222-1226. doi: 10.1248/cpb.55.1222
41. Peng H, Shahidi F. Qualitative analysis of secondary metabolites of chaga mushroom (*Inonotus obliquus*): Phenolics, fatty acids, and terpenoids. *Journal of Food Bioactives*. 2022; 17: 56-72. doi: 10.31665/jfb.2022.17304
42. Iwai K. Antidiabetic and antioxidant effects of polyphenols in brown alga *Ecklonia stolonifera* in genetically diabetic KK-A^y mice. *Plant Foods for Human Nutrition*. 2008; 63(4): 163-169. doi: 10.1007/s11130-008-0098-4
43. Tadera K, Minami Y, Takamatsu K, et al. Inhibition of α -glucosidase and α -amylase by flavonoids. *Journal of Nutritional Science and Vitaminology*. 2006; 52(2): 149-153. doi: 10.3177/jnsv.52.149
44. Prabhakar PK, Doble M. Synergistic effect of phytochemicals in combination with hypoglycemic drugs on glucose uptake in myotubes. *Phytomedicine*. 2009; 16(12): 1119-1126. doi: 10.1016/j.phymed.2009.05.021
45. 武建平, 李文兰, 曲中原, 等. 基于网络药理学探讨桦褐孔菌降血糖功效成分及作用机制. *食品工业科技*. 2021; 42(22): 18-29. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021040268
Wu J, Li W, Qu Z, et al. Action mechanism of *Inonotus obliquus* in the treatment of diabetes and the material basis of pharmacodynamics based on network pharmacology (Chinese). *Science and Technology of Food Industry*. 2021; 42(22): 18-29. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021040268

46. 刘艺珠, 宋冠洁, 郭苗苗, 等. 桦树茸活性成分及药理活性研究进展. 中医药导报. 2023; 29(1): 96-104. doi: 10.13862/j.cn43-1446/r.2023.01.018
Liu Y, Song G, Guo M, et al. Research progress of active ingredients and pharmacological activity of Chaga mushroom (Chinese). Guiding Journal of Traditional Chinese Medicine and Pharmacology. 2023; 29(1): 96-104. doi: 10.13862/j.cn43-1446/r.2023.01.018
47. 黄盼盼, 陈程, 徐向群. 桦褐孔菌三萜对 α -葡萄糖苷酶和 α -淀粉酶的抑制活性及其有效成分鉴定. 浙江理工大学学报 (自然科学版). 2020; 43(5): 678-686. doi: 10.3969/j.issn.1673-3851(n).2020.05.013
Huang P, Chen C, Xu X. Inhibitory activity of triterpenoids from *Inonotus obliquus* on α -glucosidase and α -amylase and identification of their effective compounds (Chinese). Journal of Zhejiang Sci-Tech University. 2020; 43(5): 678-686. doi: 10.3969/j.issn.1673-3851(n).2020.05.013
48. Wang S, Wang R, Li R, et al. Research progress on application of *Inonotus obliquus* in diabetic kidney disease. Journal of Inflammation Research. 2023; Volume 16: 6349-6359. doi: 10.2147/jir.s431913
49. Singla RK, Singh R, Dubey AK. Important aspects of post-prandial antidiabetic drug, acarbose. Current Topics in Medicinal Chemistry. 2016; 16(23): 2625-2633. doi: 10.2174/1568026616666160414123500
50. 杨珺尧, 孟利. 桦褐孔菌及其药理作用研究进展. 食药用菌. 2021; 29(3): 202-207. doi: 2095-0934(2021)03-202-06
Yang J, Meng L. Research progress on *Inonotus obliquus* and its pharmacological effects (Chinese). Edible and Medicinal Mushrooms. 2021; 29(3): 202-207. doi: 2095-0934(2021)03-202-06
51. 杜文婧, 王琦. 桦褐孔菌资源分布及药理活性研究进展. 菌物研究. 2013; 11(1): 49-56. doi: 10.13341/j.jfr.2013.01.008
Du W, Wang Q. A review of the distribution and pharmacological activity of *Inonotus obliquus* (Chinese). Journal of Fungal Research. 2013; 11(1): 49-56. doi: 10.13341/j.jfr.2013.01.008
52. 李艳婷, 郭尚, 徐莉娜, 等. 桦褐孔菌资源分布及其地域环境条件分析. 中国林副特产. 2019; 4: 60-65. doi: 10.13268/j.cnki.fbsic.2019.04.024
Li Y, Guo S, Xu L, et al. Study on review of the distribution and environmental conditions of *Inonotus obliquus* (Chinese). Forest By-Product and Speciality in China. 2019; 4: 60-65. doi: 10.13268/j.cnki.fbsic.2019.04.024
53. Sułkowska-Ziaja K, Robak J, Szczepkowski A, et al. Comparison of bioactive secondary metabolites and cytotoxicity of extracts from *Inonotus obliquus* isolates from different host species. Molecules. 2023; 28(13): 4907. doi: 10.3390/molecules28134907
54. Zheng W, Zhang M, Zhao Y, et al. Accumulation of antioxidant phenolic constituents in submerged cultures of *Inonotus obliquus*. Bioresource Technology. 2009; 100(3): 1327-1335. doi: 10.1016/j.biortech.2008.05.002
55. Xue J, Tong S, Wang Z, et al. Chemical Characterization and hypoglycaemic activities in vitro of two polysaccharides from *Inonotus obliquus* by submerged culture. Molecules. 2018; 23(12): 3261. doi: 10.3390/molecules23123261
56. Jarosz A, Skórska M, Rzymowska J, et al. Effect of the extracts from fungus *Inonotus obliquus* on catalase level in HeLa and nocardia cells. Acta Biochimica Polonica. 1990; 37(1): 149-151. doi: 10.1016/0005-2728(90)90227-U
57. 姜志波. 桦褐孔菌的液体发酵培养及其生物活性物质的研究 [硕士学位论文]. 大连工业大学; 2016. doi: CNKI:CDMD:2.1016.285339
Jiang Z. Study on liquid fermentation culture of *Inonotus obliquus* and its bioactive substances (Chinese) [Master's thesis]. Dalian Polytechnic University; 2016. doi: CNKI:CDMD:2.1016.285339
58. Xu X, Li J, Hu Y. Polysaccharides from *Inonotus obliquus* sclerotia and cultured mycelia stimulate cytokine production of human peripheral blood mononuclear cells in vitro and their chemical characterization. International Immunopharmacology. 2014; 21(2): 269-278. doi: 10.1016/j.intimp.2014.05.015
59. 闫舒雅, 郭素萍. 桦褐孔菌发酵条件的优化及体外降糖作用的研究. 安徽农业科学. 2021; 49(19): 157-160. doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2021.19.041
Yan S, Guo S. Optimization of fermentation conditions of *Inonotus obliquus* and research on hypoglycemic in vitro (Chinese). Journal of Anhui Agricultural Sciences. 2021; 49(19): 157-160. doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2021.19.041
60. 陈盛宇, 田缘, 马俊秀, 等. 桦褐孔菌多糖研究现状与展望. 食品研究与开发. 2022; 43(22): 215-224. doi: 10.12161/j.issn.1005-6521.2022.22.030

- Chen S, Tian Y, Ma J, et al. Current status and prospects of research on polysaccharides from *Inonotus obliquus* (Chinese). *Food Research & Development*. 2022; 43(22): 215-224. doi: 10.12161/j.issn.1005-6521.2022.22.030
61. Lou H, Li H, Wei T, et al. Stimulatory effects of oleci acid and fungal elicitor on betulinic acid production by submerged cultivation of medicinal mushroom *Inonotus obliquus*. *Journal of Fungi*. 2021; 7(4): 266. doi: 10.3390/jof7040266
62. Xu X, Hu Y, Quan L. Production of bioactive polysaccharides by *Inonotus obliquus* under submerged fermentation supplemented with lignocellulosic biomass and their antioxidant activity. *Bioprocess and Biosystems Engineering*. 2014; 37(12): 2483-2492. doi: 10.1007/s00449-014-1226-1
63. Abu-Reidah IM, Critch AL, Manful CF, et al. Effects of pH and temperature on water under pressurized conditions in the extraction of nutraceuticals from Chaga (*Inonotus obliquus*) mushroom. *Antioxidants*. 2021; 10(8): 1322. doi: 10.3390/antiox10081322
64. Huynh N, Beltrame G, Tarvainen M, et al. Supercritical CO₂ extraction of triterpenoids from Chaga sterile conk of *Inonotus obliquus*. *Molecules*. 2022; 27(6): 1880. doi: 10.3390/molecules27061880
65. 陈正启, 周汐, 华蓉, 等. 桦褐孔菌的研究现状及应用前景. *中国食用菌*. 2021; 40(10): 1-6. doi: 10.13629/j.cnki.53-1054.2021.10.001
- Chen Z, Zhou X, Hua R, et al. Research status and application prospects of *Inonotus obliquus* (Chinese). *Edible Fungi of China*. 2021; 40(10): 1-6. doi: 10.13629/j.cnki.53-1054.2021.10.001
66. Lu Y, Jia Y, Xue Z, et al. Recent Developments in *Inonotus obliquus* (Chaga mushroom) polysaccharides: Isolation, structural characteristics, biological activities and application. *Polymers*. 2021; 13(9): 1441. doi: 10.3390/polym13091441
67. Shashkina MYa, Shashkin PN, Sergeev AV. Chemical and medicobiological properties of Chaga (review). *Pharmaceutical Chemistry Journal*. 2006; 40(10): 560-568. doi: 10.1007/s11094-006-0194-4
68. 王磊鑫, 孙涛, 甄翔, 等. 桦褐孔菌乳酸菌饮料的研制. *食品科技*. 2009; 34(9): 101-103. doi: CNKI:SUN:SSPJ.0.2009-09-030
- Wang L, Sun T, Zhen X, et al. Study on *Inonotus obliquus* lactic acid bacteria beverage (Chinese). *Food Science and Technology*. 2009; 34(9): 101-103. doi: CNKI:SUN:SSPJ.0.2009-09-030
69. Chen H, Liou B, Hsu K, et al. Implementation of food safety management systems that meets ISO 22000: 2018 and HACCP: A case study of capsule biotechnology products of chaga mushroom. *Journal of Food Science*. 2020; 86(1): 40-54. doi: 10.1111/1750-3841.15553
70. Alkhatib A, Klonizakis M. Effects of exercise training and Mediterranean diet on vascular risk reduction in post-menopausal women. *Clinical Hemorheology and Microcirculation*. 2014; 57(1): 33-47. doi: 10.3233/ch-131770
71. Middleton G, Keegan R, Smith MF, et al. Implementing a Mediterranean diet intervention into a RCT: Lessons learned from a non-Mediterranean based country. *The Journal of Nutrition, Health & Aging*. 2015; 19(10): 1019-1022. doi: 10.1007/s12603-015-0663-0
72. Martínez-González MA. Benefits of the Mediterranean diet beyond the Mediterranean Sea and beyond food patterns. *BMC Medicine*. 2016; 14(1). doi: 10.1186/s12916-016-0714-3
73. Topolska K, Florkiewicz A, Filipiak-Florkiewicz A. Functional food—Consumer motivations and expectations. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2021; 18(10): 5327. doi: 10.3390/ijerph18105327

Review

Research on Chaga hypoglycemic functional foods

Sheng Xu^{1,†}, Rui Su^{2,†}, Shuai-shuai Wei¹, Li-ping Zhang^{3,5}, Wen-han Zhang^{3,5}, Hai-hui Sun⁴, Yan Shen^{6,7}, Wei Ma^{1,*}

¹ School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, Jiangsu Province, China

² Wuxi Huayue Biotechnology Co., Ltd., Wuxi 214126, Jiangsu Province, China

³ Wuxi Gujing Biotechnology Co., Ltd., Wuxi 214126, Jiangsu Province, China

⁴ Yichun Dahaigui Life Science Co., Ltd., Yichun 336000, Jiangxi Province, China

⁵ Gao'an Qinghe Oil and Fat Co., Ltd., Gaoan 330800, Jiangxi Province, China

⁶ Jiangsu Key Laboratory for Food Quality and Safety-State Key Laboratory Cultivation Base of Ministry of Science and Technology, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, Jiangsu Province, China

⁷ Technical Center for Public Testing and Evaluation and Identification, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, Jiangsu Province, China

* **Corresponding authors:** Wei Ma, mawei209@126.com

† Sheng Xu and Rui Su contributed equally to this article.

Abstract: Chaga, also known as *Inonotus obliquus* (Fr.) Pilát, belongs to the genera *Basidiomycotina*, *Hymenomycetes*, *Hymenochaetales*, *Hymenochaetaceae*, and *Inonotus*. Chaga is a brown polypore fungus that mostly grows under the bark of white birch and silver birch trees. It forms sarcoma-like sclerotia when the bark is damaged. It mainly grows in Northern Europe at the 40° to 50° north latitude, Siberia and the Far East in Russia, Hokkaido in Japan, and the Changbai Mountain area of the Heilongjiang Province and Jilin Province in China. Chaga has various pharmacological activities, such as anti-tumor, hypoglycemic, anti-viral, and anti-inflammatory. *Inonotus obliquus*, an edible fungus with the same origin as medicine and food, has attracted more and more attention. At present, Chaga has become a raw material with great potential for developing functional foods. In this article, Chaga's blood sugar-lowering function, functional ingredients, and blood sugar-lowering mechanism and the development status of Chaga functional foods are reviewed and Chaga's future development is analyzed and forecast.

Keywords: Chaga; blood sugar; functional food; diabetes