

食用菌膳食纤维功能特性及其应用研究进展

陈 龙¹, 郭晓晖¹, 李富华¹, 夏春燕¹, 明 建^{1,2,*}

(1.西南大学食品科学学院, 重庆 400715; 2.重庆市特色食品工程技术研究中心, 重庆 400715)

摘 要: 膳食纤维对于人体健康有着重要作用。食用菌作为一种新的膳食纤维资源, 将其添加到食品中既能发挥其保健功能又可提升食品的品质, 具有广阔的开发前景。本文综述食用菌膳食纤维的组成、功能特性、改性方法及其应用现状, 为食用菌膳食纤维的综合开发和利用提供一定的参考。

关键词: 食用菌; 膳食纤维; 改性; 应用

Research Progress on the Function and Application of Dietary Fiber from Edible Fungi

CHEN Long¹, GUO Xiao-hui¹, LI Fu-hua¹, XIA Chun-yan¹, MING Jian^{1,2,*}

(1. College of Food Science, Southwest University, Chongqing 400715, China;

2. Chongqing Special Food Programme and Technology Research Center, Chongqing 400715, China)

Abstract: Dietary fiber plays a very important role on human health. Edible fungi are a new resource of dietary fiber. Dietary fiber added to foods can not only exert its healthy function, but also improve food quality. Therefore, edible fungi will have a wide exploitation prospect. In this paper, the composition, function properties, modification methods and application situation of dietary fiber from edible fungi are reviewed with the aim of providing some references for its comprehensive exploitation and utilization.

Key words: edible fungi; dietary fiber; modification; application

中图分类号: TS201.4

文献标识码: A

文章编号: 1002-6630(2012)11-0303-05

膳食纤维(dietary fiber, DF)通常是指能抗人体小肠消化吸收,而在人体大肠能部分或全部发酵的可食用的植物性成分、碳水化合物及其类似物质的总和,包括一部分不能被消化的多糖、寡糖、木质素以及其他植物缩合物^[1]。根据DF溶解特性可将其分为水溶性膳食纤维(soluble dietary fiber, SDF)和水不溶性膳食纤维(insoluble dietary fiber, IDF),SDF主要包括葡聚糖、抗性糊精、羧甲基纤维素、植物胶体等,IDF主要包括纤维素、半纤维素、木质素等。虽然DF不能被人体消化吸收,但大量研究表明,摄入足够量的DF对于平衡人体营养,调节人体生理功能,防治冠心病、糖尿病等多种疾病有着重要作用^[2-3],因而DF被列为继蛋白质、脂肪、糖类、维生素、矿物质和水之后的“第七大营养素”^[4]。

食用菌是指可供食用的大型高等真菌的统称。我国是真菌物种最丰富的国家之一,大型真菌估计约有3800种以上,食药菌达近2000种,其中已知的食用菌达

981种^[5]。食用菌营养非常丰富,含有大量蛋白质、氨基酸、膳食纤维、维生素和矿物质,且低能量、低脂肪,是目前已知最佳的植物性食品。因此,食用菌作为一种优质的膳食纤维资源极具开发前景。

1 食用菌膳食纤维的组成

食用菌膳食纤维的主要组成成分包括 β -葡聚糖、半纤维素、几丁质、甘露聚糖等,其中最重要的成分为 β -葡聚糖^[6]。不同种类的食用菌, β -葡聚糖在DF中的结构和含量均有不同。虎奶菌DF中 β -葡聚糖主要是 β -1,3-葡聚糖和 β -1,6-葡聚糖^[7],而香菇DF中 β -葡聚糖则为 β -1,3-葡聚糖^[8]。侧耳属食用菌 β -葡聚糖的含量约占其干质量的0.22%~0.53%^[9]。另外, β -葡聚糖可同时存在于食用菌SDF和IDF中,比例也因食用菌种属的不同而有所差异。在食用菌总膳食纤维(total dietary fiber, TDF)中,IDF的含量(2.28~8.99g/100g)高出SDF(0.32~2.20g/100g)很多^[10],因此 β -葡聚糖在IDF中比例也较高。

收稿日期: 2011-09-05

基金项目: 国家“863”计划项目(2011AA100805-2); 重庆市科技攻关计划项目(CSTC 2011AC1010); 中央高校基本科研业务费专项(XDJK2009C044)

作者简介: 陈龙(1988—),男,硕士研究生,研究方向为食品化学与营养学。E-mail: chanloong2007@163.com

*通信作者: 明建(1972—),男,副教授,博士,研究方向为食品化学与营养学。E-mail: mingjian1972@163.com

几丁质是一种非水溶性多糖,作为食用菌细胞壁结构聚合物,主要作用是维持细胞壁的结构和形状,生理活性很小,对人体基本无保健作用^[11],和半纤维素、甘露聚糖等在食用菌 TDF 中所占比例很小^[12]。

2 食用菌膳食纤维的功能特性

2.1 抑制肿瘤

食用菌膳食纤维对肿瘤的抑制作用可以分为两个方面,一方面是其水溶性多糖的作用,另一方面是其非水溶性成分,如纤维素、半纤维素的作用^[13]。

大量研究证实,食用菌多糖对于人体免疫调节和抑制肿瘤方面有着显著作用^[14-15]。食用菌多糖中的活性成分是具有分支的 β -1,3- 葡聚糖,其生物活性大小随多糖的精细结构和构象不同而变化^[16]。研究表明,只有分支度在 0.20~0.33 的 β -1,3- 葡聚糖才有较强的生物活性。猪苓多糖、茯苓多糖抗肿瘤作用的机制是通过影响肿瘤细胞的增殖过程来实现的。香菇多糖可直接激活人体的 T 淋巴细胞,增强抗体形成细胞的功能,提高外周血中淋巴细胞的百分率和吞噬指数,从而抑制肿瘤细胞的生长^[17]。灵芝多糖的抗肿瘤活性是因为其活化了宿主的免疫系统,而不是直接的细胞毒性作用,在体外均不能抑制肿瘤细胞生长。

食用菌 IDF 抗肿瘤作用主要是因为纤维素、半纤维素具有较强的吸水力和溶胀性,且不易被消化道的酶消化或肠道内微生物酵解,可以形成较多的固体食物残渣,促进肠道蠕动,增加粪便体积,缩短排便时间,减少粪便中诱变物质与肠道的接触,从而降低诱变物质诱发肠癌的风险^[13]。

2.2 预防心脑血管疾病

高血脂和高胆固醇是引起心脑血管疾病的重要原因。血中胆固醇来源于食物的外源性摄取和人体的内源性合成。肝脏中的胆固醇经过代谢后变成胆酸,胆酸到达小肠以消化脂肪,随后胆酸被小肠吸收回肝脏转变成胆固醇。

研究表明,不同种类的 DF 对于抑制血中血脂和胆固醇水平的升高有很好的效果^[18-20]。食用菌 SDF 如银耳多糖可降低高胆固醇血症小鼠的血清胆固醇含量,并随剂量加大而增强。食用菌 IDF 的降胆固醇作用机理大致为通过直接吸附体内胆固醇,随粪便排出体外或在大肠发酵产生一些短链脂肪酸,干扰体内相关物质代谢而降低胆固醇水平^[21]。

2.3 预防肠道疾病

由于食用菌 SDF 和 IDF 具有不同的生理功能,在预防肠道疾病上 IDF 发挥了更多的作用。首先, IDF 化学机构中含有较多的亲水基团,具有较高的持水性,因此加快了人体排便的体积和速度,减轻了泌尿系统的压

力。其次, IDF 化学结构中包含一些羟基类侧链基团,能够吸附肠道中的阳离子,使粪便中的有害物质特别是致癌物质及时排出体外,大大减少肠道癌和痔疮等疾病的发病率。再次, IDF 可吸水膨胀,刺激肠道蠕动及增大粪便体积,加速粪便排泄,防止便秘。最后,大肠中寄生的各种微生物可对 IDF 进行不同程度的分解和发酵,产生大量短链脂肪酸,降低肠道 pH 值,有益于益生菌的繁殖,从而改变肠道系统中的微生物群系,起到防止肠道黏膜萎缩的作用^[22]。

2.4 其他生理功能

食用菌 DF 除了上述功能外,还有降血压、降血糖、预防肥胖症、清除体内自由基、改善口腔和牙齿功能、提高人体免疫力等作用^[23]。

3 食用菌膳食纤维的改性

3.1 DF 改性的目的及意义

目前研究表明, IDF 和 SDF 在人体内发挥的作用有所不同,某种 DF 的生理功能与二者的比例有很大联系。膳食中 DF 的数量很重要,但其质量更为重要,具有显著生理活性的高品质 DF,才能更有效地预防上述疾病的侵害。有学者认为,高品质 DF 中 SDF 的含量应该在 10% 以上,否则只能称为填充型 DF,然而很多植物 DF 包括食用菌 DF 中的 SDF 含量很少,无法达到膳食平衡^[24-25],且其口感较为粗糙,某些特性存在缺陷,无法满足其在食品、医药等领域的应用。一般方法制备的 DF 中 IDF 比例很高,因此 DF 改性的主要目的是提高 DF 中 SDF 的比例。通过改性处理,促使某些 DF 的大分子组分连接键断裂,转变为小分子,使部分 IDF 转变为 SDF;还可改变 DF 致密网状结构为松散网状结构,使其具有更高的持水性和膨胀力,更好地发挥 DF 的生理功能。

3.2 DF 的改性方法

目前,关于食用菌 DF 的改性研究较少,可以借鉴其他 DF 改性方面的研究,为食用菌 DF 改性提供一些思路 and 参考。目前已应用的 DF 改性方法有:物理方法(超高压技术、超微粉碎技术、挤压蒸煮技术、瞬时高压技术、纳米技术等)、化学方法(酸法、碱法)和生物方法(酶法、发酵法)。也有综合利用上述几种方法同时进行改性处理,以获得高品质 SDF。

3.2.1 超高压技术

超高压技术(ultra high pressure, UHP),又称高流体静压技术(high hydrostatic pressure, HHP),是一种物理冷加工技术,是指在室温较低条件下将物料放入液体介质,利用 100~1000MPa 的极高静压影响细胞形态,改变细胞化学结构,使蛋白质凝固、淀粉变性,以达到杀菌、钝化酶和改善食品功能特性等作用^[26-27]。

李凤^[28]通过 UHP 处理大豆 DF, 发现其持水力和膨胀力明显提高。奚灏铨等^[29]利用 UHP 处理干香菇, 比热水浸提和超声波酶解更能促进香菇多糖的溶出, 其多糖性质更为稳定。

3.2.2 超微粉碎技术

超微粉碎技术是近 30 年来随着现代化工、电子、生物、材料等高新技术的不断发展而兴起的, 是国内外食品加工的高科技尖端技术, 即利用机械或流体动力对物料进行碾磨、冲击、剪切等, 将 3mm 以上的物料颗粒粉碎至 10~25 μm ^[30]。与传统的粉碎加工技术相比, 超微粉碎后物料颗粒度更加微小, 具有一定的表面活性, 呈现出高溶解性、高吸附性、高流动性等一些特殊功能。就 DF 而言, 超微粉碎使 DF 中大分子糖苷键发生断裂, DF 的颗粒度越小, 其比表面积越大, 持水力和膨胀力也相应增大, 生理活性更强^[31]。

目前超微粉碎技术有化学合成法和机械粉碎法(干法粉碎和湿法粉碎), 机械粉碎法因其成本低、产量大, 是制备超微粉体的主要方法。Zhang Min 等^[32]通过对茶树菇进行超微粉碎, 结果表明, 随着茶树菇微粒粒径的减小, 其流动性、持水性均有所增大。史德芳等^[33]在研究香菇柄多糖溶出率的影响时发现, 香菇柄经过超微粉碎后, 可使细胞内成分充分暴露出来, 促进了多糖等有效成分的溶出, 使其活性提高, 更有利于在体内的吸收。

3.2.3 挤压蒸煮技术

挤压蒸煮技术是集输送、混合、搅拌、破碎、加热和加压等多种单元操作为一体, 使原料在挤压膨化设备中受到高温、高压、高剪切作用, 将物料中部分 IDF 断裂形成 SDF^[34], 从而使物料的持水性和膨胀力增加。郑建仙等^[35]对蔗渣进行挤压蒸煮改性后发现, SDF 增加 2.7%~9.5%, 而 TDF 变化很小。张艳荣等^[36]将姬松茸 DF 应用于面包生产中发现, 姬松茸 DF 经挤出处理后, 由于分子的断裂与重组及可溶性成分的增加, 使其形成了立体交织网络结构, 持水性和保水性大大增强。

3.2.4 酸法和碱法

目前对食用菌 DF 主要采用了硫酸化进行改性, 研究表明, 多数食用菌的不溶性多糖经过硫酸化处理后, 得到的衍生物具有更好的水溶性和稳定性, 对多种肿瘤细胞和病毒有良好的抑制作用^[37-39]。

虽然酸碱处理都能使食用菌 SDF 的含量得以提高, 但是酸碱处理常存在转化率低、反应时间长、副反应多、易造成离子残留、在食品中应用困难等不利因素, 限制了该法的推广应用。

3.2.5 酶法和发酵法

酶法反应速度快, 条件温和, 专一性强, 制得的

DF 色泽浅、易漂白、无异味、纯度高, 是一种较有潜力的改性方法, 但因酶制剂成本高, 推广应用也受到限制。发酵法改性是利用微生物发酵将 DF 大分子组分分解成小分子化合物, 提高 SDF 的含量, 从而改善 DF 的持水力等物化特性^[40]。

林雯等^[41]采用纤维素酶法对香菇柄 DF 进行改性研究, 结果显示部分 IDF 转化成非消化性的 SDF, SDF 溶出量为 10.15%, 提高了 SDF 比例, 获得的香菇柄 DF 粒度均匀, 无特殊性气味, 达到了改善香菇 DF 质量和生理活性的目的。

4 食用菌膳食纤维的应用现状

与普通 DF 相比, 食用菌 DF 作为真菌类纤维, 除具有普通 DF 的生理功能外, 还具有高蛋白、低脂肪、富含免疫活性物质及独特风味等特性。在食品加工中适量添加不同种类食用菌 DF, 即可制成具有不同特色的功能食品和风味食品, 改善产品的黏度、质地和传递特性, 延长产品的货架期。这也是当前食用菌 DF 最具社会效益和经济效益的应用领域。

4.1 在主食中的应用

主要将食用菌 DF 添加到面包、面粉、馒头中。面包现已成为世界性的大众化食品, 产销量很大, 是最便于强化添加 DF 的食品。食用菌 DF 相对于麦麸 DF、大豆 DF、甘蔗 DF 等纤维而言, 纤维分子更小, 口感更为细腻, 营养更为均衡, 产品风味更为浓郁。对于如何添加 DF、添加比例、添加后烘焙条件以及后续处理等都有人进行了研究。Fan Lisheng 等^[42]将黑木耳子实体中的多糖提取出来按 9% 的比例添加到面粉中, 制的面包口感良好, 且具有很好的抗氧化性。罗志刚^[43]在香菇膳食纤维面包的研制中发现, 用 6% 的香菇 DF 替代等量面粉, 经发酵、醒发、烘烤等工序后制得的面包, 在外观、内质和营养功能上都有了明显的提升。张艳荣等^[36]将经不同方法处理的姬松茸 DF 用于面包的生产, 最终确定姬松茸 DF 采用挤出处理, 粒度为 0.175mm, 用量为 15%, 面包添加剂用量 1.0% 生产的面包综合品质最好。

4.2 在休闲食品中的应用

饼干等膨化类休闲食品在制作时糖油量较高, 水分含量相对较低, 适合添加较多的食用菌 DF。香菇在加工时常弃去香菇柄, 造成很大的浪费, 而香菇柄中所含 DF 与菌盖大致相同, 将其经过适当改性处理后, 膨化磨成粉末添加到饼干中, 可制成高纤维膨化保健食品。

4.3 在饮料制品中的应用

在饮料中添加适量的食用菌 DF 除了发挥它的保健

功能以外,还可以使饮料中的其他微粒分布均匀,不易产生沉淀和分层现象,从而提高产品的稳定性、改善口感。Hou Xujie 等^[44]将巴楚菇中的多糖提取出来制成一种混合饮料,质地均匀透彻,香气浓郁,比压榨的苹果汁味道更好。另外将香菇 DF 与枸杞、胡萝卜混合制成复合型保健饮料,产品外观良好,具有多种保健功能。生产饮料时,一般 IDF 用量为 1.0%,粒度应在 200 目以上,以防生成沉淀,而 SDF 用量可适当提高^[45]。

4.4 在肉制品中的应用

研究认为,摄取过多具有高能量密度的肉类是引发肥胖症的一个重要原因。通过摄取低能量密度的食品替代高能量密度的肉类食品是治疗肥胖的一个良好途径。将食用菌 DF 添加到肉类制品中,不仅能降低能量和脂肪的摄入,还可提高肉品营养、改善肉品风味、增进人的食欲。Lawrence 等^[46]将白蘑菇替代部分牛肉后,经过人体食用实验证明,能量和脂肪的摄入大大降低,而在口感、食欲和饱腹感方面没有太大的差异。

4.5 在其他食品中的应用

食用菌 DF 除了上述应用外,还可用于早点、糖果、调味品、速溶类食品等,用量上既要满足人体生理对其的需要,又不能过多而影响食品品质。

5 结 语

随着社会经济的发展和人们对自身健康的日益重视,DF 因其独特的生理功能和保健作用成为目前营养学研究及功能性食品开发的热点之一。目前,我国对于 DF 的研究多集中在植物性纤维方面,主要以提取和研究 IDF 为主,能适应市场的高品质纤维产品还很少。食用菌富含 DF,而且来源广泛,品质优良,具有一般 DF 所不具有的特殊生理功能,极具开发前景。

虽然我国的食用菌种类丰富,但实际用于开发研究的品种为数不多,其生理功能及作用机理还有待进一步发掘研究。在食用菌 DF 改性方面,应用于食用菌 DF 改性的技术方法还很少,为获得高品质的 DF,应加大研究力度,扩展其改性范围,增加 SDF 所占比例。另外,食用菌 DF 在食品工业的应用范围还很局限,创新产品思路、改进提取技术、完善工艺流程将是今后研究的重点。

参考文献:

- [1] AACC. The definition of dietary fiber[J]. Cereal Foods World, 2001, 46(3): 112-126.
- [2] 李建民,侯玉泽. 膳食纤维的功能与应用进展[J]. 河南科技大学学报: 农学版, 2003, 23(2): 75-77.
- [3] MANN J I, CUMMINGS J H. Possible implications for health of the different definitions of dietary fibre[J]. Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases, 2009, 19(3): 226-229.
- [4] WHO Study Group. Diet, nutrition and the preparation of chronic disease [R]. Switzerland, Geneva: WHO, 1991.
- [5] 李淑秀. 我国食用菌研究进展[J]. 安徽农学通报, 2010, 16(1): 109-110.
- [6] MANZI P, GAMBELLI L, MARCONI S, et al. Nutrients in edible mushrooms: an inter-species comparative study[J]. Food Chemistry, 1999, 65(4): 477-482.
- [7] CHEUNG P C K, LEE M Y. Fractionation and characterization of mushroom dietary fiber(non starch polysaccharides) as potential nutraceuticals from sclerotia of *pleurotus tuber-regium* (fries) singer[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2000, 48(8): 3148-3151.
- [8] YU Zhanhai, YIN Lihua, YANG Qian, et al. Effect of *Lentinus edodes* polysaccharide on oxidative stress, immunity activity and oral ulceration of rats stimulated by phenol[J]. Carbohydrate Polymers, 2009, 75(1): 115-118.
- [9] MANZI P, PIZZOFERRATO L. β -glucans in edible mushrooms[J]. Food Chemistry, 2000, 68(3): 315-318.
- [10] EVA G, ANA G, MIGUEL L, et al. Edible mushrooms: role in the prevention of cardiovascular diseases[J]. Fitoterapia, 2010, 81(7): 715-723.
- [11] TAO Yongzhen, ZHANG Lina, CHEUNG Peter C K. Physicochemical properties and antitumor activities of water-soluble native and sulfated hyperbranched mushroom polysaccharides[J]. Carbohydrate Research, 2006, 341(13): 2261-2269.
- [12] MANZI P, AGUZZI A, PIZZOFERRATO L. Nutritional value of mushrooms widely consumed in Italy[J]. Food Chemistry, 2001, 73(3): 321-325.
- [13] 黄滢波,魏东,吴瑞珊. 食用菌膳食纤维研究新进展[J]. 中国食品添加剂, 2007(1): 232-237.
- [14] 阮征,付晓芳,周泉城,等. 香菇多糖 L-2 对荷瘤小鼠 TNF- α 和 IL-2 的影响[J]. 食品科学, 2006, 27(1): 223-226.
- [15] RUAN Zheng, SU Jie, DAI Hanchuan, et al. Characterization and immunomodulating activities of polysaccharide from *Lentinus edodes* [J]. International Immunopharmacology, 2005, 5(5): 811-820.
- [16] 杜巍,李元瑞,袁静. 食用菌多糖生物活性与结构的关系[J]. 中国食用菌, 2002, 21(2): 28-30.
- [17] 王珏,陈平,江亮. 超声波辅助技术在香菇柄多糖提取中的应用研究[J]. 武汉工业学院学报, 2008, 27(1): 15-17.
- [18] ANDERSON J W, JONES A E, MASON S R. Ten different dietary fibers have significantly different effects on serum and liver lipids of cholesterol-fed rats[J]. Nutrition, 1994, 124(1): 78-83.
- [19] ANDERSON J W, GILINSKY N H, DEAKINS D A, et al. Lipid responses of hypercholesterolemic men to oat-bran and wheat-bran intake [J]. Clinical Nutrition, 1991, 54(4): 678-683.
- [20] 袁尔东,郑建仙. 不同品种膳食纤维降血脂功能的比较[J]. 中国粮油学报, 2002, 17(3): 38-41.
- [21] MICHIIHIRO F, MASUO N, YASUKO M, et al. Hepatic LDL receptor mRNA in rats is increased by dietary mushroom (*Agaricus bisporus*) fiber and sugar beet fiber[J]. Nutrition, 2000, 130(9): 2151-2156.
- [22] POTTY V H. Physio-chemical [physico-chemical] aspects, physiological functions, nutritional importance and technological significance of dietary fibres: a critical appraisal[J]. Journal of Food Science and Technology, 1996, 33(1): 1-18.
- [23] 郭华,叶敬昊. 香菇膳食纤维保健功效初探[J]. 应用科技, 2000, 27(2): 28-29.
- [24] WONG K H, CHEUNG P C K, WU Jinzhong. Biochemical and microstructural characteristics of insoluble and soluble dietary fiber prepared from mushroom sclerotia of *Pleurotus tuber-regium*, *Polyporus*

- rhinoceros*, and *Wolfiporia cocos*[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2003, 51(24): 7197-7202.
- [25] 郑建仙. 功能性食品[M]. 2版. 北京: 中国轻工业出版社, 1999: 50-56.
- [26] 励建荣, 夏道宗. 超高压技术在食品工业中的应用[J]. 食品工业科技, 2002, 23(7): 79-81.
- [27] CHOI H S, KIM H S, PARK C S, et al. Ultra high pressure (UHP) assisted acetylation of corn starch[J]. Carbohydrate Polymers, 2009, 78(4): 862-868.
- [28] 李凤. 超高压处理对大豆膳食纤维的改性[J]. 大豆科学, 2008, 27(1): 142-144.
- [29] 奚灏铨, 袁根良, 杜冰, 等. 超高压提取香菇多糖的研究[J]. 现代食品科技, 2010, 26(9): 991-993.
- [30] 高福成. 现代食品工业高新技术[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1997: 21-56.
- [31] 涂宗财, 李金林, 刘成梅. 纳米膳食纤维的研制及特性初探[J]. 食品科学, 2006, 27(12): 575-577.
- [32] ZHANG Min, ZHANG Caiju, SHRESTHA S. Study on the preparation technology of superfine ground powder of *Agrocybe chaxingu* Huang[J]. Journal of Food Engineering, 2005, 67(3): 333-337.
- [33] 史德芳, 高虹, 周明, 等. 超微粉碎处理对香菇柄中多糖溶出率的影响[J]. 湖北农业科学, 2009, 48(7): 1730-1732.
- [34] 吕国英, 张作法, 潘慧娟, 等. 食用菌膳食纤维研究进展[J]. 浙江农业学报, 2011, 23(2): 421-426.
- [35] 郑建仙, 耿丽萍, 高孔荣, 等. 蔗渣膳食纤维挤压改性的研究[J]. 食品科学, 1996, 17(7): 17-21.
- [36] 张艳荣, 刘婷婷, 李玉. 姬松茸膳食纤维在面包生产中应用的研究[J]. 食品科学, 2007, 28(5): 166-169.
- [37] ZHANG Pingyi, CHEUNG P C K. Evaluation of sulfated *Lentinus edodes* α -(1-3)-D-glucan as a potential antitumor agent[J]. Bioscience Biotechnology and Biochemistry, 2002, 66(5): 1052-1056.
- [38] LIN Yulu, ZHANG Lina, CHEN Li, et al. Molecular mass and antitumor activities of sulfated derivations of α -glucan from *Poria cocos* mycelia[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2004, 34(5): 231-236.
- [39] ZHANG Mei, CHEUNG P C K, OOI V E, et al. Evaluation of sulfated fungal β -glucans from the sclerotium of *Pleurotus tuber-regium* as a potential water-soluble anti-viral agent[J]. Carbohydrate Research, 2004, 339(13): 2297-2301.
- [40] 朱国君, 赵国华. 膳食纤维改性研究进展[J]. 粮食与油脂, 2008 (4): 40-42.
- [41] 林雯, 黄茂坤, 张凤玉, 等. 香菇柄膳食纤维酶法改性及功能特性研究[J]. 广东农业科学, 2011(3): 92-95.
- [42] FAN Lisheng, ZHANG Shenghua, YU Lin, et al. Evaluation of antioxidant property and quality of breads containing *Auricularia auricula* polysaccharide flour[J]. Food Chemistry, 2007, 101(3): 1158-1163.
- [43] 罗志刚. 香菇纤维面包的研制[J]. 粮油加工, 2007(2): 77-78.
- [44] HOU Xujie, ZHANG Na, XIONG Suying, et al. Extraction of BaChu mushroom polysaccharides and preparation of a compound beverage[J]. Carbohydrate Polymers, 2008, 73(2): 289-294.
- [45] 戚勃, 李来好. 膳食纤维的功能特性及在食品工业中的应用现状[J]. 现代食品科技, 2006, 22(3): 272-279.
- [46] LAWRENCE J C, LISA M D, LEAH M L, et al. Lack of energy compensation over 4 days when white button mushrooms are substituted for beef[J]. Appetite, 2008, 51(1): 50-57.