

食用菌的益生元效应研究进展

周蓓莉¹, 梁强¹, 邹妍¹, 明建¹, 赵国华^{1,2,*}

(1. 西南大学食品科学学院, 重庆 400715; 2. 重庆市农产品加工技术重点实验室, 重庆 400715)

摘要: 肠道微生物在人类健康和疾病预防中起着重要作用。益生元因能对肠道菌群的结构和数量发挥调节作用, 成为当前保健食品研究的热点。体内外实验研究表明食用菌对宿主肠道菌群有改善作用, 能促进有益菌群(如乳酸杆菌、双歧杆菌)的代谢和增殖, 同时对病原菌(如大肠杆菌、梭状芽孢杆菌和沙门氏菌)有明显的抑制作用。食用菌发挥益生元作用的主要物质基础为其中的非消化性活性多糖。

关键词: 食用菌; 肠道菌群; 益生元; 益生菌; 多糖

Research Progress in Prebiotic Properties of Edible Mushroom

ZHOU Bei-li¹, LIANG Qiang¹, ZOU Yan¹, MING Jian¹, ZHAO Guo-hua^{1,2,*}

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

2. Chongqing Key Laboratory of Agricultural Product Processing, Chongqing 400715, China)

Abstract: The balance of intestinal flora plays an important role in human health and disease prevention. Prebiotics are the most promising health foods because they can regulate the structure and number of intestinal flora. Mushroom extract can significantly modify intestinal flora composition, which reveals the promotion roles in the metabolism and proliferation of beneficial microorganisms such as *Lactobacilli* and *Bifidobacteria*, as well as the inhibitory effect on pathogenic bacteria such as *E. coli*, *Clostridium* and *Salmonella*. The major components with prebiotic function in mushroom are non-digestible polysaccharides.

Key words: mushroom; intestinal flora; prebiotics; probiotics; polysaccharides

中图分类号: TS218

文献标识码: A

文章编号: 1002-6630(2011)15-0303-05

近年来, 食品研究方向逐渐从传统的营养强化食品向生理调节的功能性食品转变, 研究食物功能成分、开发功能性食品已成为国际上食品研究的热点和发展趋势。健康成人的胃肠道内存在着种类繁多的微生物, 其中结肠是它们的主要定植部位。肠道共生菌能够通过一系列机制改善宿主健康, 包括抑制病原菌在肠道定植、合成发酵产物、提供结肠上皮细胞能量以及激活免疫等作用^[1]。目前, 增殖人体内双歧杆菌、乳杆菌的途径主要为口服活菌制剂(益生菌)或其发酵底物(益生元)两种。利用益生元自然增殖法安全无毒、稳定高效, 此类生物制品自其作用机制被阐明以来, 以极快的速度得到了广泛的应用。目前, 益生元物质研究得较多的是一些非消化性低聚糖(如菊粉型果聚糖、低聚半乳糖、低聚木糖、大豆低聚糖、异麦芽糖等)^[2-4], 蛋白质水解物(α -乳清蛋白, 乳铁蛋白等)^[5-6], 多糖(谷物 β -葡聚糖)^[7]等。食用菌碳水化合物具有不易消化性, 符合益生元的部分定义, 赋予了它作为益生元来源的潜力, 食

用菌价格便宜且来源丰富, 是值得考虑的益生元来源^[8]。本文总结了近十年来食用菌益生作用的研究情况, 对食用菌中发挥益生元活性的多糖结构及功能进行了介绍, 旨在为食用菌益生元功能进一步研究和开发提供参考。

1 食用菌益生元效应

益生元(prebiotics)是一种可被选择性发酵且专一性地改变肠道中对宿主健康有益菌群的组成和活性的配料(ingredient)^[9]。食用菌作为候选益生元, 具有来源丰富、肠道副作用小等优点, 有着巨大的开发潜力。

1.1 食用菌益生元效应的体外研究

研究表明^[11-13], 来自食用菌的多糖具有与功能性低聚糖类似的益生元效应, 主要通过促进有益菌群(如乳酸杆菌、双歧杆菌)的增殖和产酸, 同时抑制肠道病原菌群(如大肠杆菌、梭状芽孢杆菌和沙门氏菌)来发挥益生元效应(见表1)。

收稿日期: 2011-04-25

基金项目: 重庆市科技攻关项目(CSTC 2011AC1010); 国家“863”计划项目(2011AA100805)

作者简介: 周蓓莉(1987—), 女, 硕士研究生, 研究方向为食品安全与质量控制。E-mail: zhoubeili1987@sina.com

*通信作者: 赵国华(1971—), 男, 教授, 博士, 研究方向为食品化学。E-mail: zhaoguohua1971@163.com

表 1 食用菌发挥益生作用机制的体外研究
Table 1 Prebiotic effect and mechanisms of edible mushroom *in vitro*

发挥益生作用的机制	食用菌种类
促进乳杆菌增殖	糙皮侧耳 ^[10-12] 、刺芹侧耳 ^[10] 、茯苓侧耳 ^[13] 、孤苓多孔菌 ^[13] 、姬松茸 ^[14-17] 、猴头菇 ^[18] 、鸡腿菇 ^[19] 、香菇 ^[16,20-21] 、松蘑 ^[16] 、金针菇 ^[21]
促进双歧杆菌增殖	刺芹侧耳 ^[10] 、孤苓多孔菌 ^[13] 、猴头菇 ^[18] 、糙皮侧耳 ^[22]
促进嗜热链球菌增殖	猴头菇 ^[18] 、姬松茸 ^[16,23] 、鸡腿菇 ^[19] 、香菇 ^[16,20-21] 、松蘑 ^[16] 、糙皮侧耳 ^[12] 、金针菇 ^[21]
发酵产酸(乳酸、SCFA、VFA)	姬松茸 ^[14-15,17,21] 、糙皮侧耳 ^[10-12] 、刺芹侧耳 ^[10] 、银耳 ^[24] 、香菇 ^[24,16] 、松蘑 ^[16]
发酵降低NH ₃ 含量	香菇 ^[24] 、银耳 ^[24]
抑制大肠杆菌	褐蘑菇 ^[25] 、香菇 ^[25-26] 、滑子菇 ^[25]
抑制沙门氏菌	褐蘑菇 ^[25] 、香菇 ^[25] 、滑子菇 ^[25]
抑制宋内志贺氏菌	姬松茸 ^[15]
抑制G ⁺ 致病菌	茯苓侧耳 ^[13] 、孤苓多孔菌 ^[13] 、褐蘑菇 ^[25] 、香菇 ^[25-26] 、滑子菇 ^[25]

1.1.1 促进乳酸菌的增殖和产酸

研究人员对酸奶中食用菌的益生作用进行了研究,发现在牛奶培养基中添加鸡腿菇^[19]、香菇^[20]、猴头菇^[18,27]、平菇^[11-12,28]、金针菇^[21]提取物均能显著缩短酸奶凝乳时间,增强酸奶凝乳效果,促进发酵乳中乳酸菌生长和产酸;它们本身具有很多风味物质,因而使产品具有菇类特有的香味。赵伯菁^[16]将姬松茸、松蘑、香菇多糖添加到 MRS 培养基中,观察到 3 种食用菌多糖的添加对乳酸菌生长有明显的促进作用,乳酸菌在对数期期间活菌数达到了 10¹⁰CFU/mL 以上;多糖的添加使嗜酸乳杆菌经过短暂的迟滞期,迅速进入对数生长期,显著促进嗜酸乳杆菌产酸。这一结果与闫丽莉等^[14]对姬松茸多糖的研究结论一致。韩雪等^[22]对各种增殖因子对双歧杆菌增殖效果的研究发现,平菇汁在体积分数较低时就对双歧杆菌有显著增菌效果。

国外学者也对食用菌提取物进行了体外发酵研究。Synytsya 等^[10]发现糙皮侧耳和刺芹侧耳中葡聚糖均能明显促进乳杆菌生长,进一步研究发现,刺芹侧耳还能显著促进双歧杆菌生长;两种葡聚糖发酵均产生短链脂肪酸(SCFA)以及乳酸。Guo 等^[24]利用鸡盲肠内容物对香菇、银耳多糖进行体外发酵,发酵动力学结果及终产物的情况表明真菌多糖发酵能产生挥发性脂肪酸(VFA)并降低培养基中 NH₃ 含量,具有改善微生物菌群组成和活性的潜力。VFA 是肠道中病原微生物受抑制的重要因素,高浓度的 VFA 可明显抑制沙门氏菌等的生长,同时也可降低肠道 pH,从而抑制某些 pH 敏感菌的生长和促进益生菌增殖^[29]。

1.1.2 抑制肠道病原菌

Gao 等^[13]将来自茯苓菌核和孤苓多孔菌菌核的非消化性碳水化合物(NDCs)分别作为长双歧杆菌、短乳杆菌和隐藏梭菌的发酵底物,经 24h 体外发酵后,与乳果糖

对照组相比,两种菌核的 NDCs 中长双歧杆菌和短乳杆菌比隐藏梭菌更优先利用碳源而生长,其中孤苓多孔菌菌核对隐藏梭菌的抑制作用显著高于对照组和茯苓菌核。刘莹^[25]、钟耀广等^[26]分别发现褐蘑菇、香菇、滑子菇粗多糖和香菇多糖对革兰氏阴性菌的大肠杆菌及革兰氏阳性菌的金黄色葡萄球菌有抑制效果并且多糖的抑菌活性都随浓度的升高而增强。闫丽莉等^[14]研究发现姬松茸粉不仅能明显促进嗜酸乳杆菌产酸量和菌液 OD 值的生长,添加姬松茸粉的合生元还对肠道致病菌(肠炎沙门氏菌、大肠埃希氏菌、宋内氏志贺氏菌)有一定抑制作用。

1.2 食用菌益生元效应的体内研究

体外实验所接种的菌群种类有限,益生元在宿主肠道中除已研究的菌种外,还受到若干其他菌群及其代谢作用的影响^[30],因此对食用菌益生元效应的研究需要在体外实验基础上采用动物模型和人体实验来进一步确认(表 2)。

1.2.1 对健康动物或人的作用

Giannenas 等^[31]在正常仔鸡膳食中添加 20g/kg 干燥碾碎的双孢菇,发现仔鸡粪便中的双歧杆菌数量由 106.28CFU/g 增加到 107.77CFU/g,乳杆菌数量由 106.45CFU/g 增加到 108.05CFU/g。李好等^[32]用富硒猴头菇冻干粉对小鼠灌胃,收集粪便并用细菌 16S rDNA 荧光定量 PCR 法测定 3 大类肠道菌的数量,发现双歧杆菌和乳杆菌数量显著增多并且大肠埃希氏菌数量明显减少,证明富硒猴头菇冻干粉对小鼠肠道菌群具有调节作用。Oyetayo 等^[33]将凤尾菇粉(MD 组)和凤尾菇与乳杆菌的混合物(MDL 组)添加到大鼠膳食中,结果显示 MD 组和 MDL 组大鼠的血清球蛋白含量和粪便中的乳杆菌数量显著高于空白组,这一结果说明凤尾菇与乳杆菌在增强宿主免疫方面和促进肠道乳杆菌增殖方面可能有协同作用。

表2 食用菌益生作用的体内研究
Table 2 Prebiotic effect of edible mushroom in vivo

来源	动物	时间/d	益生作用	文献
香菇、银耳多糖	鸡	21	1)粪便中乳杆菌、双歧杆菌数量上升; 类杆菌、大肠杆菌数量降低, 肠球菌无显著增殖; 2)粪便黏度上升	[38]
香菇提取物	鸡	49	1)促进双歧杆菌生长; 2)减少沙门氏菌数量	[36]
双孢菇粉	鸡	42	2)增加回肠中双歧杆菌; 增加盲肠中双歧杆菌和乳杆菌; 2)肠道中大肠杆菌数量降低, 类杆菌和肠球菌无明显增殖	[31]
香菇提取物	鸡	49	粪便中双歧杆菌增加	[39]
凤尾菇粉	大鼠	28	1)增加大鼠血清球蛋白含量; 2)粪便中乳杆菌数量升高; 大肠杆菌数量减少	[33]
担子菌菌丝体的AHCC	大鼠	9	1)促进需氧菌、乳杆菌、双歧杆菌增殖, 梭状芽胞杆菌数量减少; 2)消除炎症	[37]
猴头菇冻干粉	小鼠	21	1)低、中剂量组双歧杆菌增多, 高剂量组乳酸杆菌增多; 2)中剂量组和高剂量组减少肠道中大肠埃希氏菌	[32]
灵芝孢子粉	大鼠	7	1)双歧杆菌、乳酸杆菌数量增加, 肠杆菌数量减少; 2)易位至肝脏、胰腺的细菌减少	[35]
银耳孢子发酵物	猪	28	1)提高乳酸杆菌和双歧杆菌的数量, 降低了大肠杆菌数量; 2)促进断奶仔猪生长和改善饲料利用率, 提高断奶仔猪的免疫机能	[40]
灵芝孢子粉	腹泻患者	21	治疗真菌性肠炎所致腹泻21d后有效率为96.77%	[34]

表3 部分真菌多糖的来源、化学组成、结构、分子质量和成分含量^[44]
Table 3 Sources, chemical composition, structures, molecular weights and β -glucan contents of mushroom polysaccharides^[44]

多糖种类	化学组成和结构	分子质量/D	β -葡聚糖含量/%
香菇多糖	$\beta(1 \rightarrow 6)$ 支链和 $\beta(1 \rightarrow 3)$ 支链的 $\beta(1 \rightarrow 3)$ 葡聚糖	500000	0.22*
银耳多糖	$\alpha(1 \rightarrow 3)$ 连接的甘露聚糖, 支链由葡萄糖醛酸和木糖组成	300000	—
双孢菇多糖	主链为 $\beta(1 \rightarrow 3)$ 连接, 少量 $\beta(1 \rightarrow 4)$ 连接, 支链为 $\beta(1 \rightarrow 6)$	158000	0.0014 Δ
黑木耳多糖	L-岩藻糖、L-阿拉伯糖、葡萄糖醛酸D-葡萄糖、D-木糖等	155000	—
牛肝菌多糖	D-葡萄糖、D-木糖、D-甘露糖、D-半乳糖、L-岩藻糖	40000	0.548*
平菇多糖	$\beta(1 \rightarrow 6)$ 支链的 $\beta(1 \rightarrow 3)$ 葡聚糖	24000	0.139 Δ
凤尾菇多糖	$\beta(1 \rightarrow 3)$ 吡喃葡聚糖基骨架, β -D-葡萄糖基作为侧链	280000	0.53*
杏鲍菇多糖	$\beta(1 \rightarrow 6)$ 支链的 $\beta(1 \rightarrow 3)$ 葡聚糖	5000	0.413 Δ
茶树菇多糖	D-木糖、半乳糖醛酸、D-甘露糖、D-葡萄糖	122000	0.302 Δ
灰树花多糖	$\beta(1 \rightarrow 6)$ 支链的 $\beta(1 \rightarrow 3)$ 葡聚糖	5000000	—
长裙竹荪多糖	D-甘露糖、D-葡萄糖、D-半乳糖、D-木糖	870000	—
短裙竹荪多糖	D-甘露糖、D-葡萄糖、L-岩藻糖	199000	—

注: *.真菌的食用部分干质量; Δ .真菌的食用部分鲜质量; —.未查阅到相关数据。

1.2.2 对肠道失调动物或人的作用

肠道失调的动物或人摄入食用菌后, 其对肠道菌群的调节和修复作用尤为显著。杨春佳等^[34]对110例腹泻患者采用灵芝孢子粉治疗, 对粪便直接涂片革兰氏染色镜检, 结果显示用灵芝孢子粉治疗真菌性肠炎所致腹泻21d后效率为96.77%, 治疗方法简单、安全、有效; 原因在于灵芝孢子粉能明显提高巨噬细胞溶酶体酶活性, 使腹腔巨噬细胞进入激活状态, 而且灵芝孢子粉的多糖起到益生元作用, 促进肠道内益生菌增殖并提高其在肠道内的定植能力, 从而纠正肠道菌群失调。蔡文辉等^[35]采用胆胰管逆行注射5%牛磺胆酸钠法造成大鼠重症急性胰腺炎(SAP)模型, 给药7d后处死大鼠并进行肠道菌群、肝脏及胰腺细菌易位检测; 结果发现灵芝孢子粉能够扶植肠道中双歧杆菌、乳酸杆菌的生长并减少肠杆菌的数量, 对SAP引起的肠道紊乱和细菌易位有调节作用。

2 食用菌益生元效应的活性成分

不少研究者认为食用菌的多糖是其具有益生元效应

的活性物质。Abdelali等^[37]发现主要含乙酰化的 α -葡聚糖的活性己糖相关化合物(AHCC)能在肠炎病人的功能性食品中发挥益生元作用。Synytsya等^[10]发现糙皮侧耳和刺芹侧耳的葡聚糖和葡聚糖蛋白复合物均能作为特定益生菌的合生元成分, 促进益生菌生长。

食用菌多糖的主要成分有几丁质、 β -葡聚糖、 α -葡聚糖及其他半纤维素, 分子质量根据来源不同约为5~2000kD^[41-42]。食用菌多糖大多表现为线性或分支的葡聚糖。这些葡聚糖以不同类型的糖苷键连接, 如(1 $\rightarrow$ 3)、(1 $\rightarrow$ 6)- β -葡聚糖和(1 $\rightarrow$ 3)- α -葡聚糖, 其中有一些是杂多糖, 含有阿拉伯糖、甘露糖、海藻糖、半乳糖、木糖等侧链^[43](表3)。

由于脊椎动物胰腺或刷状缘和哺乳动物特定部位分泌的消化酶不能水解 β 糖苷键, 食用菌中的几丁质和 β 键连接的多糖不能被人类胃肠道消化或吸收, 从而能被肠道菌群发酵^[45]。最重要是真菌多糖只刺激有益菌群的生长, 而不是有潜在的致病性或腐败性的有害细菌。研究表明^[46], 分子大的、发酵慢的、有益生元功能的多糖可能比分子小的、发酵快的糖类(如乳糖)、非消化

性低聚糖(NDOs)为好。因为在高剂量下,人体对多糖耐受力更好,减少了肠胃不适、腹部气胀或因迅速酸化而导致的黏膜损伤和腹泻等副作用。此外,大分子的多糖可为整个大肠提供持久性的可发酵糖源,这一点对于预防大肠癌有特别意义,因为降结肠和直肠是疾病发生的常见场所。

3 展 望

食用菌是蛋白质、膳食纤维等营养成分的优质来源^[47],对便秘和肠道老化严重的中老年人群能集益生元和膳食纤维效果为一体。食用菌多糖表现出了良好的免疫激活和抗肿瘤活性^[48],将食用菌成分添加到食品中,消费者受益于其益生元功能的同时也能享受其药用功能^[49]。近年来,国内外对食用菌益生效应研究已取得较大的进步,但仍存在许多问题,总结起来主要有以下3个问题:

1)益生元效应活性物质及构效关系研究有待深入。现在已有不少研究者将食用菌益生元效应的活性物质指向食用菌多糖。食用菌多糖的生物活性与其组成、结构有着密切的关系^[50]。目前人们对食用菌多糖构效关系的研究还仅限于对其一级结构的研究,需进一步研究食用菌多糖活性与分子组成、连接方式、立体构型、相对分子质量、糖链的长度和分支程度、溶解度等关系。

2)益生元效应研究方法模拟度较差。现在研究方法大多是简单的体外发酵或连续、分批的纯培养^[51]。今后研究的实验方法应采用体外厌氧发酵或对肠道菌群模拟度更高的动态连续培养(单级连续、模拟人体肠道的三级连续等)以及更多的动物、人体实验,以及使用细菌16S rDNA荧光定量PCR法测定肠道菌的数量。

3)益生元效应的评价内容过于单一。目前对大多食用菌益生作用评价内容仅限于肠道菌群数量或组成的变化或pH的变化,还需进一步研究食用菌发酵产SCFA的产量及组成、产气量以及维护正常肠道功能的作用。此外,也可考虑用pI值对食用菌益生作用进行评价,通过比较pI值的大小,不仅可以定性,而且可以定量描述益生元作用,且方便与其他来源的益生元的益生作用进行比较。

参考文献:

- [1] TOPPING D L, CLIFTON P M. Short-chain fatty acids and human colonic function: roles of resistant starch and nonstarch polysaccharides [J]. *Physiological Reviews*, 2001, 81(3): 1031-1064.
- [2] ZIEGLER E, VANDERHOOF J A, PETSCHOW B, et al. Term infants fed formula supplemented with selected blends of prebiotics grow normally and have soft stools similar to those reported for breast-fed infants [J]. *Journal of Pediatric Gastroenterology & Nutrition*, 2007, 4(3): 359-364.

- [3] ROBERFROID M B. Inulin-type fructans: functional food ingredients [J]. *The Journal of Nutrition*, 2007, 137(11): 2493-2502.
- [4] 林轶凡, 孙建琴. 益生元低聚糖对婴幼儿肠道微生态及健康的影响 [J]. *营养健康新观察*, 2009(2): 28-31.
- [5] POPE L L, FLICKINGER E A, KARR-LILIENTHAL L K, et al. Effects of lactoferrin supplementation on ileal and total tract nutrient digestibility, gastrointestinal microbial populations, and immune characteristics of ileal cannulated, healthy, adult dogs [J]. *Archives of Animal Nutrition*, 2006, 60(1): 10-22.
- [6] DUPONT C, RIVERO M, GRILLON C, et al. α -Lactalbumin-enriched and probiotic-supplemented infant formula in infants with colic: growth and gastrointestinal tolerance [J]. *European Journal of Clinical Nutrition*, 2010, 64(7): 765-767.
- [7] SNART J, BIBILONI R, GRAYSON T, et al. Supplementation of the diet with high-viscosity beta-glucan results in enrichment for lactobacilli in the rat cecum [J]. *Applied and Environmental Microbiology*, 2006, 72(3): 1925-1931.
- [8] 兰玉菲, 安秀荣, 王庆武, 等. 草菌作为益生元新来源的潜力研究 [J]. *中国食用菌*, 2011, 30(2): 52-54.
- [9] GIBSON G R, PROBERT H M, RASTALL R A, et al. Dietary modulation of the human colonic microbiota: up-dating the concept of prebiotics [J]. *Nutrition Research Reviews*, 2004, 17(2): 259-275.
- [10] SYNITSYA A, MICKOVA K, JABLONSKY I, et al. Glucans from fruit bodies of cultivated mushrooms *Pleurotus ostreatus* and *Pleurotus eryngii*: structure and potential prebiotic activity [J]. *Carbohydrate Polymers*, 2009, 76(4): 548-556.
- [11] 张功, 王瑞君, 嵒嵘. 平菇浸汁促进嗜酸乳杆菌生长的研究 [J]. *微生物学通报*, 2001, 29(4): 65-67.
- [12] 康怀彬, 李道敏, 陈树兴. 平菇酸奶的研制 [J]. *中国乳业*, 2003(4): 30-31.
- [13] GAO Shane, LAI C K M, CHEUNG P C K. Nondigestible carbohydrates isolated from medicinal mushroom sclerotia as novel prebiotics [J]. *International Journal of Medicinal Mushrooms*, 2009, 11(1): 1-8.
- [14] 闫丽莉, 韩建春. 姬松茸多糖对乳酸菌生长的影响 [J]. *中国乳品工业*, 2008, 36(12): 7-10.
- [15] 闫丽莉. 微胶囊化食用菌合生元制剂的研究 [D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2008.
- [16] 赵伯菁. 三种食用菌提取物对乳酸菌生长的影响 [J]. *食品科技*, 2009, 34(12): 261-264.
- [17] 韩建春, 曹荣安, 孔保华. 巴西菇对保加利亚乳杆菌生长的影响研究 [J]. *黑龙江畜牧兽医*, 2005(12): 85-87.
- [18] 李科德, 韩木兰, 柏建玲, 等. 猴头菇抽提物对乳酸菌生长的影响 [J]. *微生物学杂志*, 2000, 20(2): 34-35.
- [19] 王芳, 马丽珍. 鸡腿菇浸提液对乳酸菌生长的作用 [J]. *山西农业大学学报*, 2003, 23(4): 342-344.
- [20] 王芳, 马丽珍, 孙卫青. 香菇浸提液对乳酸菌生长的作用 [J]. *山西农业大学学报*, 2002, 22(2): 159-161.
- [21] 郭红珍, 张燕. 金针菇与香菇酸奶的研制 [J]. *中国乳业*, 2005(9): 37-39.
- [22] 韩雪, 张兰威. 双歧杆菌增殖因子的筛选及培养基的优化 [J]. *食品与生物技术学报*, 2005, 24(4): 69-72.
- [23] 曹荣安, 韩建春, 孔保华. 巴西菇对嗜热链球菌生长影响的研究 [J]. *食品工业科技*, 2006, 27(1): 79-80.
- [24] GUO F C, WILLIAMS B A, KWAKKEL R P, et al. *in vitro* fermentation characteristics of two mushroom species, an herb, and their polysaccharide fractions, using chicken cecal contents as inoculum [J]. *Poultry Science*, 2003, 82(10): 1608-1615.
- [25] 刘莹. 三种食用菌粗多糖体外抗菌活性研究 [J]. *食用菌*, 2009, 31(2): 66-68.

- [26] 钟耀广, 林楠, 王淑琴, 等. 香菇多糖的抗氧化性能与抑菌作用研究[J]. 食品科技, 2007, 32(7): 141-144.
- [27] 王世强, 屈艳. 猴头菇复合保健酸奶的研制[J]. 中国酿造, 2009(10): 166-167.
- [28] 张功, 张和平, 梁钧. 对平菇浸汁促进嗜酸乳杆菌生长的研究[J]. 内蒙古师大学报, 1996(1): 50-52.
- [29] FRETER R, JONES G W. Models for studying the role of bacterial attachment in virulence and pathogenesis[J]. Clinical Infectious Diseases, 1983, 5(4): 647-658.
- [30] van HOUTTE T, HUYS G, DEBRANDT E, et al. Molecular monitoring and characterisation of the faecal microbiota of healthy dogs during a prebiotic feeding study[J]. Fems Microbiology Letters, 2005, 249(1): 65-71.
- [31] GIANNENAS I, TONTIS D, TSALIE E, et al. Influence of dietary mushroom *Agaricus bisporus* on intestinal morphology and microflora composition in broiler chickens[J]. Research in Veterinary Science, 2010, 89(1): 78-84.
- [32] 李好, 于世军, 王伟, 等. 富硒猴头菇对小鼠肠道菌群的调节作用[J]. 中国微生态学杂志, 2010, 22(8): 697-700.
- [33] OYETAYO V O, OYETAYO F L. Preliminary study of the health promoting potentials of *Lactobacillus fermentum* OVL and *pleurotus sajor caju* administered to rats[J]. Pakistan Journal of Nutrition, 2005, 4(2): 73-77.
- [34] 杨春佳, 苏德望, 马淑霞, 等. 灵芝孢子粉在真菌性肠炎所致腹泻中的应用[J]. 中国微生态学杂志, 2009, 21(9): 850; 852.
- [35] 蔡文辉, 杨景云, 王亚贤, 等. 灵芝孢子粉对重症急性胰腺炎大鼠肠道微生态失调的调整作用[J]. 中国微生态学杂志, 2008, 20(2): 140-142.
- [36] WILLIS W L, KING K, ISKHUEMHEN O S, et al. Administration of mushroom extract to broiler chickens for bifidobacteria enhancement and *Salmonella* reduction[J]. Journal of Applied Poultry Research, 2009, 18(4): 658-664.
- [37] ABDELALI D, ENRIQUE M P, ROCIO L P, et al. Active hexose correlated compound acts as a prebiotic and is anti-inflammatory in rats with hapten-induced colitis[J]. The Journal of Nutrition, 2007, 137(5): 1222-1228.
- [38] GUO F C, WILLIAMS B A, WAKKEL R P K, et al. Effects of mushroom and herb polysaccharides, as alternatives for an antibiotic on the cecal microbial ecosystem in broiler chickens[J]. Poultry Science, 2004, 83(2): 175-182.
- [39] WILLIS W L, ISKHUEMHEN O S, IBRAHIM S A. Performance assessment of broiler chickens given mushroom extract alone or in combination with probiotics[J]. Poultry Science, 2007, 86(9): 1856-1860.
- [40] 傅祖良, 王康宁, 吴仿琪, 等. 银耳孢子发酵物及与 pGRF 基因质粒合用对断奶仔猪生长、部分免疫指标及肠道菌群的影响[J]. 动物营养学报, 2009, 21(5): 777-783.
- [41] SYNYSYA A, MÍCKOVÁ K, JABLONSKÝ I, et al. Mushrooms of genus *pleurotus* as a source of dietary fibres and glucans for food supplements[J]. Czech Journal of Food Sciences, 2008, 26(6): 441-446.
- [42] BOHN J A, BEMILLER J N. (1 → 3)- β -D-glucans as biological response modifiers: a review of structure-functional activity relationships[J]. Carbohydrate Polymers, 1995, 28(1): 3-14.
- [43] WASSER S P. Medicinal mushrooms as a source of antitumor and immunomodulating polysaccharides[J]. Applied Microbiology and Biotechnology, 2002, 60(3): 258-274.
- [44] 李金灿, 陆辉, 张相日, 等. 食用菌多糖特性与保健作用研究新进展[J]. 中国食用菌, 2005, 24(6): 7-11.
- [45] van LOO J. Inulin-type fructans as prebiotics[M]//GIBSON G R, RASTALL R A. Prebiotics: development and application. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2006: 59.
- [46] GIBSON G R, RASTALL R A. 益生元开发与应用[M]. 胡学智, 李平作, 雷肇祖, 译. 北京: 化学工业出版社, 2007: 213-215.
- [47] 李月梅. 食用菌的功能成分与保健功效[J]. 食品科学, 2005, 26(8): 517-521.
- [48] ZHANG Mei, CUI S W, CHEUNG P C K, et al. Antitumor polysaccharides from mushrooms: a review on their isolation process, structural characteristics and antitumor activity[J]. Trends in Food Science & Technology, 2007, 18(1): 4-19.
- [49] AIDA F M N A, SHUHAIMIA M, YAZID M, et al. Mushroom as a potential source of prebiotics: a review[J]. Trends in Food Science and Technology, 2009, 20(11/12): 567-575.
- [50] 王立波. 食用菌多糖的特性及其提取工艺研究[J]. 中国食品添加剂, 2006(6): 68-71.
- [51] GIBSON G R, RASTALL R A. Prebiotics: development & application [M]. England: John Wiley & Sons, Ltd, 2006: 67-68.