

大型食药真菌深层发酵研究进展

王 谦*, 胡卫静

(河北大学生命科学学院, 保定 071002)

摘 要: 食药真菌的研究已成为现代农业产业关注的新焦点。发酵工程是生物工程中的一个重要方面。食药真菌应用发酵工程的原理生产逐渐成为现代工业发展的趋势。本文综述了大型食药真菌深层发酵的历史、发酵的工艺与特点。大型食药真菌深层发酵的应用包括: 制备液体菌种用于食药真菌栽培、将发酵产物提取后用于制备保健食品和药品、代谢产物生产食品或饲料蛋白、制备保健美容化妆品、培育食药真菌子实体等。食药真菌利用深层发酵法生产食用菌菌丝体或者其他代谢产物都可以在短期内得到。其生产效率远远大于农业栽培法, 此外, 深层培养能够更方便有效地从发酵液中提取其代谢产物。因此, 深层培养将成为现代食药真菌生产的趋势。

关键词: 大型食药真菌; 液体深层发酵; 应用

Research progress on submerged fermentation of macroscopic edible fungi

WANG Qian*, HU Wei-Jing

(College of Life Science, Hebei College, Baoding 071002, China)

ABSTRACT: Researches on biological characteristics of macroscopic edible fungi and its application with submerge fermented method have become a new focus of the modern agriculture. Fermentation technology is an important part of biological technology. The principle of fermentation engineering using for the production of edible fungi has gradually become the trend of the development of modern industry. This paper summarized the history of submerged fermentation of macroscopic edible fungi, fermentation process and characteristics. Submerged fermentation of macroscopic edible fungi had a wide range of applications including preparation of liquid strains using for edible fungi cultivation, preparation of health food and medicine using fermentation products, producing food or feed protein by metabolites, preparation of health and beauty cosmetics and cultivating edible fungi fruiting body. Using submerged fermentation, edible fungi mycelium and metabolite could get in the short term. Its production efficiency was far greater than the agricultural cultivation method. In addition, the metabolites could be extracted more easily and effectively from the fermentation broth by submerged culture. Therefore, submerged culture would become the modern trend of edible and medicinal fungi production.

KEY WORDS: macroscopic edible fungi; liquid submerged fermentation; application

基金项目: 河北省现代农业产业技术体系食用菌创新团队项目

Fund: Supported by Innovation Team Project of Edible Fungus in Modern Agricultural Industry Technology System of Hebei Province

*通讯作者: 王谦, 研究员, 主要研究方向为食药真菌研究与开发。E-mail: wq6203_cn@126.com

*Corresponding author: WANG Qian, Researcher, College of Life Sciences, Hebei University, Baoding 071002, China. E-mail: wq6203_cn@126.com

1 引 言

中国是世界上食用菌资源最为丰富的国家, 目前能够分类定位的食用菌种类已达 1000 余种, 占世界食用菌总数的 50%^[1]。商业化栽培的食药真菌种类约 60 种, 其中有 20 余种已进行商业化生产, 如平菇、香菇、金针菇、双孢菇、木耳、杏鲍菇、灵芝等^[2-4]。

生物工程是 21 世纪朝阳产业, 其涵盖的发酵工程也占据着很大的比重。发酵工程是指采用现代工程技术手段, 利用微生物的某种功能, 为人类生产和提供有用的产品或直接把微生物应用于工业生产过程中的一种新技术。其主要内容包括: 工业生产菌株的选育; 最佳发酵条件的选择和控制在; 生化反应器(发酵罐)的设计和产品的分离; 提取和精制等过程。对于大型食药真菌, 世界各国的研究学者进行了深入的研究, 也获得了很多成就。大型食药真菌与发酵工程的交叉结合称为食药真菌的深层发酵或深层培养^[5]。

深层发酵, 即将微生物细胞置于液体底物里面进行培养, 达到表面培养形成鲜明对照的状态。深层发酵的方法是随着通气工艺技术的发展而发展。发酵工程史上的第一个里程碑和当今微生物研究的主要方法都是通气式搅拌型深层发酵培养技术^[6]。

2 大型食药真菌深层发酵的历史

大型食用菌的深层发酵历史见表 1。

中国的研究人员是从 1958 年才开始研究蘑菇、侧耳等的液体发酵。1963 年有人开始工业化生产试验羊肚菌液体发酵。此后, 大规模采用液体发酵生产食药真菌逐渐展开^[10]。

近年来, 国内有众多食药真菌研究单位: 如上海农业科学院、广东微生物研究所、福建三明市真菌研究所、河北大学食药真菌研究所等的众多学者做出了很多努力, 获得了丰硕的成果。黑木耳、香菇、金针菇、大杯蕈及榆黄等几种食药真菌深层培养物的发酵条件及作为液体菌种在栽培生产方面已经取得成功应用^[11-15]。白灵、灵芝、黄伞、茯苓等真菌的深层培养物制取的饮料、酒等已经投放市场^[16-19]。

因为发酵培养物的丰富内涵与复杂性, 以及我们目前的认识与分离手段的局限性导致了其下游工程方面报道

较少。目前最常见的是关于大型食药真菌的多糖类物质的研究。现已被研究适于深层发酵培养的大型食用真菌有 50 多种, 其主要品种如表 2。

3 大型食药真菌深层发酵的工艺与特点

深层发酵的原理是使微生物细胞置于液体底物里面进行培养, 以此跟表面培养形成对照。适宜进行深层发酵的大型食药真菌菌株一般具有以下特点: 菌丝体蛋白质含量丰富; 快速适应液体通气条件; 菌丝体生长速度快且高产; 具有稳定的遗传特性和可鉴别的形态特征。根据以上特点, 在深层发酵前要慎重选择菌株, 以免造成不必要的损失。

大型食药真菌的深层发酵是随着抗生素发酵技术而发展起来的^[20], 选用了传统的发酵生产工艺, 如图 1 所示。一级菌种在适温下振荡培养 4~6 d 后, 经无菌检验后以 2%~5% 的接种量接入种子罐。整个发酵过程无菌要求甚是严格, 稍有不慎, 可能会带来巨大的损失, 因此在整个发酵过程都需要严格的控制。一般品种发酵管理及检验不能马虎。一般品种发酵培养温度(23~25)℃, 黑木耳属于喜温好氧真菌, 笔者研究得出黑木耳适宜培养温度为 28℃^[11]。培养过程中要定时定量地测定真菌发酵指标, 以更好地了解及掌控其发酵过程。以香菇为发酵菌株, 研究得出其适宜培养温度为(25±1)℃, 通气量 1:0.5~1:1, 放罐标准为生物量(鲜重)达到 300 g/L, 而且香菇在发酵至 48 h 后 pH 会急剧下降至 3.0 后趋于稳定。发酵过程中, 泡沫也是一个很亟待解决的问题。目前一般发酵工程项目中, 消泡剂有硅类消泡剂、聚醚类消泡剂、天然油脂类消泡剂、高级醇类消泡剂。大型食药真菌深层发酵多采用天然油脂类为消泡剂, 因为会残留下油脂, 对菌丝生长、提取代谢产物有干扰, 所以应尽可能少的使用^[21]。在大型食药真菌深层发酵过程中, 培养基中 C 源和 N 源是重要的营养因素。不同食药真菌品种常对 C 源和 N 源有不同要求, 如茶树菇以葡萄糖为最适碳源^[22]; 大多种类的食药真菌都能以葡萄糖、麦芽糖、蔗糖及淀粉为 C 源。大型食药真菌的 N 源来源种类很多: 如酵母膏、豆饼粉、玉米粉、蛋白胨等, 有些品种还能以无机氮为 N 源, 不同真菌品种由于酶系组成不同对 N 源要求则不同, 一般无机氮不如有机氮^[23]效率高。

表 1 大型食药真菌深层发酵的历史

Table 1 The history of submerged fermentation of macroscopic edible fungi

年代	人物	事件
1948 年	Humfeld	进行了食用菌液体发酵的研究, 首先提出了培养食用菌的菌丝体可以用液体发酵技术 ^[7]
1958 年	Szuecs	第一个用发酵罐培养羊肚菌并获得成功 ^[8]
1985 年	Martin	用泥炭水解物深层培养了双孢蘑菇和羊肚菌 ^[9]

表 2 适于深层培养的部分大型食用真菌
Table 2 Some macroscopic edible fungi which are suitable for submerged fermentation

中文名	拉丁名	开发的主要应用领域
香菇	<i>Lentinus edodes</i>	液体菌种 制药 食品
侧耳	<i>Pleurotus</i> sp.	液体菌种
黄伞	<i>Pholiota adiposa</i>	液体菌种 食品
猴头	<i>Hedcium erinacius</i>	液体菌种 制药 食品
金针菇	<i>Flammulina velutipea</i>	液体菌种 食品
灵芝	<i>Ganoderma lucidum</i>	液体菌种 保健食品 药品
草菇	<i>Volvariella volvacea</i>	液体菌种
黑木耳	<i>Auricularia auricula</i>	液体菌种
榆耳菌	<i>Gloeostereum incarnatum</i>	液体菌种 药品
茶树菇	<i>Agrocybe cylindracea</i>	液体菌种 食品
银耳	<i>Tremella fuciformis</i>	食品 药品

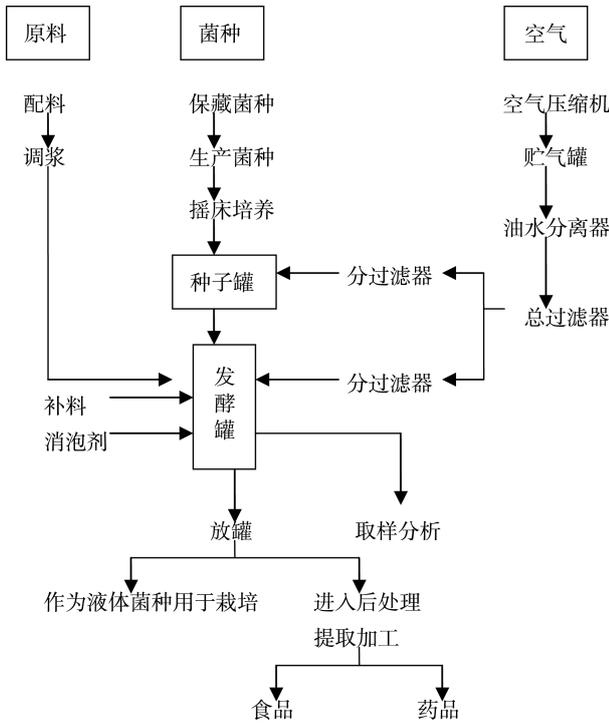


图 1 大型食(药)用真菌深层发酵生产工艺流程
Fig. 1 Technology process of submerge fermentation of macroscopic edible fungi

大型食药真菌的发酵周期可大致分为 4 个时期: 适应期、增殖期、稳定期及衰亡期。在以获得菌丝体为目的的深层发酵生产中, 将菌丝体的生物量即得率作为控制指标。目前真菌深层培养都是以菌丝体为目的物, 即使是以多糖为代谢产物的, 菌丝体的生物量也是很重要的参考指

标。因此, 通过一定的方法: 镜检、平皿或斜面培养及分析测定, 对其特定性状、如菌丝粗细及分枝、锁状联合、有无横隔、空泡是否出现、有无杂菌和萌发菌落的形态学观察并结合菌丝体的重量、pH 值、氨基氮及残糖含量的测定, 可以及时监控发酵状态。对于以次生代谢产物为目的物的深层发酵, 一般都选择在目的产物达到最大值时才会终止发酵。

若想改进大型食药真菌深层发酵培养工艺可考虑如下几点:

- (1) 研究并优化影响菌丝体生长的各种因子。
- (2) 使用具有微处理计算机和新型探头的发酵罐, 可提高效率、降低能耗。
- (3) 根据大型食药真菌发酵动力学及生理学设计制造出更适于菌丝体生长的发酵设备。
- (4) 采用连续发酵技术。

连续发酵技术最大的优点是提高了设备利用率, 进而大幅度提高了生产率。现在很多的发酵产品依然采用传统的批式发酵, 原因可能在于连续发酵工艺技术在生产实际中的应用存在很多困难: 例如人员素质、设备条件、菌种稳定性等, 但毋庸置疑的是连续发酵技术是很有发展前景的。

食药真菌深层发酵的后处理, 是目前变化发展最为丰富的发酵工程领域之一。如果是生产制备液体菌种栽培食用菌, 则只需将发酵后的菌液注入已灭菌的密闭容器内; 如果目的产物是其代谢产物, 则可以通过真空浓缩、离子交换、多功能提取、结晶等提取方法实现, 工艺流程最后要根据产品特点而定。提取方法虽然多, 但要综合考虑各种因素视情况而定。

4 大型食用真菌深层发酵的应用

大型食用真菌深层发酵根据目前应用情况可大致将其划分为以下 5 个方面:

4.1 液体菌种

目前关于液体菌种的报道很多, 现在已应用液体菌种的主要食药真菌品种有茯苓、侧耳、金针菇、香菇、黑木耳、猴头、灵芝等^[24-28]。根据笔者从冀中南香菇主产区的调查情况看, 液体菌种的使用并未得到普及, 制种工艺采用传统的固体菌种, 而这种制种方式并不适应食药真菌工厂化生产, 制约着我国食药真菌产业的发展。采用深层发酵技术获得液体菌种具有生产周期短、成本低、不受季节限制、可进行大规模工厂化生产等优点, 其缺点在于不便贮藏、设备和人员素质要求较高、技术难度较大, 但这些不足会随着科技的进步、员工素质的提高而改善。采用现代技术打造食用菌产业高科技平台, 提高菌种的基本三性, 即特异性、一致性和稳定性, 可使我国食用菌种生产向工厂化、标准化、自动化、低风险、稳产量方向发展。目前食用菌产业逐渐从一家一户的小农经济模式向工业化、工厂化栽培的规模经济模式转变。因此, 大型食用真菌发酵工程技术具有很好的发展前景。

4.2 保健食品和药品

1964 年英国 RHM 公司最早进行食用真菌蛋白的试验,

到 1981 年开始生产相关食品。他们自 1970 年起进行食药真菌蛋白安全性试验, 包括人在内的十几种动物均未发现在毒性、致癌、致畸、传代方面有任何不良反应^[5]。目前国内已将大型食用真菌的深层培养产物应用于调味品、保健品, 不仅扩大了食品等开发领域, 而且取得了一定的经济效益。

21 世纪以来, 医药行业面临着十分严重的挑战。而大型食药真菌深层发酵技术在制药工业领域有着巨大的应用潜力, 同时鉴于中国目前的发展趋势与国际知识产权方面的要求, 利用真菌宝库开发新药的迫切性与可行性更为其提供了良好的发展契机。食药真菌在深层培养过程中会产生多糖、多肽、生物碱、萜类化合物、甾醇、甙类、酚类、酶、核酸、氨基酸、维生素、具抗生素作用的多种化合物以及植物激素等多种生理活性物质, 这些物质分别具有对心血管、肝脏、神经系统、肾、性等人体器官的防病治病作用以及抗癌、消炎、抗衰老、抗菌、抗溃疡等功效^[29]。并且真菌药物具有疗效稳定、副作用小、原料来源容易等优点, 这是其他类型的药物所无法比拟的。因此, 利用食药真菌开发新药已成为新型途径之一, 可对发酵产物进行深加工, 生产胶囊、口服液、针剂、片剂、冲剂等。部分大型食药真菌深层发酵技术在药品开发中的应用情况如表 3 所示。

表 3 部分大型食药真菌深层培养产物的药理作用及临床应用

Table 3 Pharmacological action and clinical application of culture solution of some macroscopic edible fungi

深层发酵品种	产物主要成分	药理作用	临床应用
猴头 ^[30]	生物碱、有机酸、多糖、甙类、微量元素、氨基酸	增强体液免疫功能、降血糖增加胃液分泌、保护溃疡面、促胃粘膜再生	猴菇片及胃乐冲剂治疗慢性胃炎、胃溃疡、慢性乙型肝炎、对食管癌有一定疗效。
香菇 ^[31]	多种酶、多糖、类脂化合物、氨基酸、微量元素	增强体液和细胞免疫、兴奋网状内皮系统、保护肝脏、抗癌、抗血小板凝集	香菇多糖片治慢性乙型肝炎及肿瘤治疗的辅助药。
银耳 ^[32]	多糖、甾醇、脂类、氨基酸	增强免疫、延缓衰老、降血脂、促进干扰素产生、抗血栓、抗溃疡	银孢多糖胶囊及银耳孢子糖浆治疗慢性气管炎、慢性乙型肝炎、白细胞减少
梨形马勃 ^[33]	多糖	抗感染、止血	医学主要用于止血
蜜环菌 ^[34]	多元醇、酚、有机酸、酯类化合物、鏻吟衍生物、多糖	免疫增强作用, 中枢神经镇静作用、增强脑血流量与冠状动脉血流量	蜜环菌片治疗各种病因(高血压、美尼尔、植物神经紊乱等)引起的眩晕、改善肢麻、耳鸣、失眠等症状。
灵芝 ^[35]	多糖、核苷类、呋喃类、甾醇类、生物碱、三萜类、氨基酸	免疫调节作用、强心、循环系统稳态调节、抑制过敏反应、抗肿瘤	灵芝片、灵芝复方糖浆等、主要用于肿瘤辅助治疗慢性气管炎、高血压、神经衰弱、糖尿病、高血脂等
云芝 ^[36]	多糖	增强特异性体液免疫反应、促进抗体形成、修复肝损伤	云星胶囊用于治疗慢性乙型肝炎、癌症辅助治疗、免疫功能低下的老年病
安络小皮伞菌 ^[37]	氨基酸、甾醇、软脂酸、对轻基肉桂酸	抗炎、镇痛	安络痛胶囊、注射液等治疗多种类型神经痛、风湿性关节炎等。
桑黄 ^[38]	多糖	抗炎、增强免疫力、抗衰老	多糖胶囊用于抗肿瘤增强机体免疫力
裂褶菌 ^[39]	多糖	增强免疫力、抗炎	作为医药可以清肝明目、滋补强身也可用于妇科疾病

4.3 食品或饲料蛋白

与传统食品的营养成分比较,菌丝体蛋白单位含量高于木谷类,并且人体必需氨基酸含量高。利用食药真菌深层发酵获得菌丝体蛋白为传统生产蛋白提供了新的途径,缓解了其制备的压力^[40-43]。

仅以金针菇^[44]深层培养菌丝体的营养成份分析:粗蛋白 134.49 mg/g,粗多糖 39.90 mg/g。戴德慧等^[45]利用酱渣食用菌发酵生产功能性饲料,研究得出在最佳条件下最终发酵产物的水分含量为 50.5%,多糖为 17.3%,粗蛋白为 19.1%,表明食用菌发酵再生利用酱渣可生产富含平菇的多糖饲料。因此,食药真菌在饲料行业开发潜力巨大。在这方面,除其蛋白质含量丰富、氨基酸品种齐全而胜于普通饲料外,以发酵工程手段获得食用真菌型饲料级单细胞蛋白,可用的原料资源更为广泛,再生资源、工业废液亦可被利用,从而也成为保护环境解决生态平衡的又一可行途径^[46]。

4.4 保健美容化妆品

食用菌具有丰富的营养价值、保健和药用疗效,含有多糖类、核苷类、多肽氨基酸类和萜类等主要功效成分,具有抗氧化、抗衰老、美白和保湿等功效^[47-49]。灵芝和茯苓等食用菌类是古代养生家用来服食,以求延缓衰老、进行美容的妙药;银耳有独特的去除脸上雀斑和黄、黑斑的功能,有润泽肌肤、美化容颜的作用^[50]。

利用菌丝体的抽提物加入化妆品,生产抗皱润肤的美容佳品,如将灵芝、虫草菌丝体应用于洗面液中,还有银耳面膜、灵芝营养霜等均有广阔的应用前景。

4.5 培育食用菌子实体

国外许多研究学者正在积极研究用深层培养法培育食用菌子实体的机制、条件和方法。日本学者在 1974 年针对糙皮侧耳的深层培养研究中,将培养后的菌醪移入 15℃±5℃ 温度下静止培养,结果得出在有散射光照射条件下湿润的菌丝体上很快产生了子实体。香菇及美味牛肝菌等亦有成功的报道^[4];笔者在进行《金针菇深层培养及应用》和《白灵侧耳深层培养及应用》等课题中^[5]也曾进行类似尝试并获成功。但如何使其在保证商品性能的前提下获得稳定的产量无疑是这一研究方向有待解决的课题。

5 结束语

用深层培养法生产食用菌可在短期内得到大量的食用菌菌丝体及其代谢产物。生产效率远高于农业栽培法,此外,深层培养有利于从发酵液中提取其代谢产物。因此,深层培养成为现代食用菌生产的趋势^[51]。参考诸多学者获得的研究结果及目前的市场需求,大型食用真菌的深层发酵具有很好的发展前景及应用价值。

参考文献

- [1] 沈萍,陈向东.微生物学(第2版)[M].北京:高等教育出版社,2006.
Shen P, Chen XD. Microbiology (2nd Edition)[M]. Beijing: Higher Education Press, 2006.
- [2] 王海彦,沈业寿.食用菌研究与应用技术[M].北京:中国科学技术大学出版社,2013.
Wang HY, Shen YS. Research and application of technology of edible fungi [M]. Beijing: University of Science and Technology of China Press, 2013.
- [3] 曹佳,安玉发,陈丽芬.中国食用菌生产和贸易分析[J].经济分析,2006,(7):14-17.
Cao J, An YF, Chen LF. Chinese edible fungus production and trade analysis [J]. Econ Anal, 2006, (7): 14-17.
- [4] 林彩民.我国食用菌产业发展现状和前景[M].北京:科技画报出版社,1999.
Lin CM. Current Situation and Prospects mushroom industry [M]. Beijing: Pictorial Publishing House of Science and Technology, 1999: 82.
- [5] 王谦.大型食用真菌与发酵过程[J].广西轻工业,1995,(3):21-25.
Wang Q. Macroscopic edible fungi and submerged fermentation [J]. J Light Ind, 1995, (3): 21-25.
- [6] 郭尚,王慧娟.食用菌深层发酵技术及其应用[J].山西农业科学,2013,41(8):885-888.
Guo SH, WanG HJ. Submerged fermentation technology of edible fungus and its application [J]. J Shanxi Agric Sci, 2013, 41(8): 885-888.
- [7] 林杰.白灵菇栽培技术要点[J].中国食用菌,2000,19(5):28-29.
Lin J. Cultivation techniques of *pleurotus eryngii* var [J]. Edible Fungi China, 2000, 19(5): 28-29.
- [8] 陆建明,张锡凤.食用菌液体菌种制备的研究进展[J].中国食用菌,2003,22(6):15-17.
Lu JM, Zhang XF. Development on the Study of production liquid strain in the edible fungi [J]. Edible Fungi China, 2003, 22(6): 15-17.
- [9] 郭金龙.杏鲍菇液体培养生产多糖的研究[D].呼和浩特,内蒙古农业大学,2008.
Guo JL. Study on the yield of polysaccharide of *Pleurotus eryngii* cultured in Liquid Condition [D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2008.
- [10] 游明乐.中国食药真菌发酵工程研究进展[J].微生物学通报,2007,34(2):327-331.
You ML. The food chinese (Med) uses the fungus fermentation engineering research progress [J]. Microbiology, 2007, 34(2): 327-331.
- [11] 王谦,贾震.不同条件对黑木耳液体深层发酵的影响[J].河北大学学报(自然科学版),2011,1:74-78.
Wang Q, Jia Z. Effects of different conditions on the black fungus in submerged fermentation [J]. J Hebei Univ (Nat Sci Ed), 2011, 1: 74-78.
- [12] 王谦,刘利群,闫蕾蕾,等.香菇的深层发酵工艺应用研究[J].河北大学学报(自然科学版),2004,2:172-174.
Wang Q, Liu LQ, Yan LL, et al. Studies on submerged fermentation technology and application of *Lentinula edodes* [J]. J Hebei Univ (Nat Sci Ed), 2004, 2: 172-174.
- [13] 王谦,刘玉霞,刘会欣,等.金针菇的深层液体培养及应用[J].湖北农业科学,2006,1:84-85+91.
Wang Q, Liu YX, Liu HX, et al. Submerged culture of *flammulina*

- velutipes* and its application [J]. Hubei Agric Sci, 2006, 1: 84–85+91.
- [14] 王谦, 姚钗. 大杯蕈深层液体培养研究初探[J]. 食用菌, 2010, 1: 19–20.
Wang Q, Yao C. Submerged culture of *Clitocybe maxima* and its preliminary study [J]. Edible Fungi, 2010, 1: 19–20.
- [15] 王谦, 黄增瑞, 王淑艳, 等. 榆黄蘑液体菌种的发酵工艺研究及其应用[J]. 河北农业大学学报, 2002, 1: 58–60.
Wang Q, Huang ZR, Wang SY, et al. Studies on the fermentation technique of *Pleurotus citrinopileatus* and the application of its liquid spawn [J]. J Agric Univ Hebei, 2002, 1: 58–60.
- [16] 王谦, 卢朝亮, 黄荣华. 白灵侧耳发酵饮料的研制[J]. 安徽农业科学, 2007, 35(13): 3988–3989.
Wang Q, Lu CL, Huang RH. Production of fermented *Pleurotus nebrodensis* beverage [J]. J Anhui Agri Sci, 2007, 35(13): 3988–3989.
- [17] 王谦, 卢婕, 杨丽, 等. 发酵型灵芝醋饮料的工艺研究[J]. 食品科学, 2007, 5: 379–381.
Wang Q, Lu J, Yang L, et al. Study on fermented vinegar beverage of *Ganoderma lucidum* [J]. Food Sci, 2007, 5: 379–381.
- [18] 王谦, 金黎明, 巩竟, 等. 黄伞菌丝体发酵型醋饮料的制备工艺[J]. 河北大学学报(自然科学版), 2009, 2: 199–203.
Wang Q, Jin LM, Gong J, et al. Fermented Vinegar Beverage of *Mycelia of Pholiota adiposa* [J]. J Agric Univ Hebei, 2009, 2: 199–203.
- [19] 王谦, 宋桂庆. 茯苓酒发酵工艺研究[J]. 食品研究与开发, 2007, 11: 3–6.
Wang Q, Song GQ. Study on fermented wine from *wofiporia cocos* [J]. Food Res Dev, 2007, 11: 3–6.
- [20] 郑凤荣. 榆黄蘑液体深层发酵技术研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2007.
Zheng FR. The submerged fermentable technology of *Pleurotus eiorinopileatus* [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2007.
- [21] 刘跃, 张红蕊, 赵林, 等. 消泡剂在发酵工业中的应用[J]. 齐鲁工业大学学报, 2014, 28(2): 37–39+46.
Liu Y, Zhang HR, Zhao L, et al. Application of antifoams in fermentation processes [J]. J Qilu Univ Technol, 2014, 28(2): 37–39+46.
- [22] 苗秉义, 邵坤. 茶树菇液体培养碳氮源的筛选[J]. 现代农业科技, 2009, (19): 87–89.
Miao BY, Shao K. Study on the screening carbon source and nitrogen source of liquid culture of *Agrocybe cylindracea* [J]. Mod Agric Sci Technol, 2009, (19): 87–89.
- [23] 黄信孚. 香菇菌丝深层培养的碳氮源和生长因子[J]. 真菌学报, 1984, 3(1): 39.
Huang XF. Investigations on the carbon, nitrogen source and growth factor requirements for mycelial growth of *Lentinus edodes* in submerged culture [J]. Acta Mycol Sin, 1984, 3(1): 39.
- [24] 陆建明, 张锡凤. 食用菌液体菌种制备的研究进展[J]. 中国食用菌, 2011, 22(6): 15–17.
Lu JM, Zhang XF. Development on the study of production liquid strain in the edible fungi [J]. Edible Fungi China, 2011, 22(6): 15–17.
- [25] 戴建清, 曾志恒. 食用菌液体菌种研究现状及发展趋势[J]. 中国食用菌, 2012, 31(5): 1–3.
Dai ZQ, Zeng ZH. Research status and development trends of liquid spawn of edible mushroom [J]. Edible Fungi China, 2012, 31(5): 1–3.
- [26] 赵洪新, 华秀英, 王升厚, 等. 香菇液体菌种的研究[J]. 中国食用菌, 2003, 22(6): 40–41.
Zhao HX, Hua XY, Wang SH, et al. The study of production liquid strain in the *Lentinus edodes* (Berk) sing [J]. Edible Fungi China, 2003, 22(6): 40–41.
- [27] 沈维铎, 姚志伟, 杨群. 香菇液体培养的工业优化[J]. 武汉生物工程学院学报, 2012, 8(2): 86–89.
Shen WD, Yao ZHW, Yang Q. Optimization process on liquid culture of *Lentinula edodes* [J]. J Wuhan Bioeng Inst, 2012, 8(2): 86–89.
- [28] 梁建光, 董洪新, 朱德盼. 香菇液体培养过程检测指标的研究[J]. 湖北农业科学, 2005, 6: 76–78.
Liang JG, Dong HX, Zhu DP. Study on the detection indexes of *lentinula edodes* strains during liquid culture [J]. Hubei Agric Sci, 2005, 6: 76–78.
- [29] Ioannidis P, Courtis N, Havredaki M, et al. The polyadenylation inhibitor cordycepin (3'dA) cause a decline in c-MYC mRNA levels without effecting c-MYC protein levels [J]. Oncogene, 1999, 18(1): 117–125.
- [30] 王晓玉, 蒋秋燕, 凌沛学, 等. 猴头菇活性成分及药理作用研究进展[J]. 中国生化药物杂志, 2010, 31(1): 70–72.
Wang XY, Jiang QY, Ling PX, et al. Research progress on the effective components of *Hericium erinaceus* and its pharmacological actions [J]. Chin J Biochem Pharm, 2010, 31(1): 70–72.
- [31] 董晓宇, 宁安红, 曹倩, 等. 香菇及其药理作用研究进展[J]. 大连大学学报, 2005, 26(2): 63–68.
Dong XY, Ning AH, Cao Q, et al. On progress of the research on *Lentinus edodes* (Berk) Sing. and the pharmacological effect [J]. J Dalian Univ, 2005, 26(2): 63–68.
- [32] 程艳秋. 不同片段银耳多糖的制备、化学结构和对肿瘤药物化疗减毒作用的研究[D]. 长春: 长春中医药大学, 2011.
Cheng YQ. Preparation of different fragments of tremella polysaccharides, chemical constitution and the attenuated effect of chemotherapy to tumor drug [D]. Changchun: Changchun University Chinese Medicine, 2011.
- [33] 郭晶, 江蔚新, 范明松. 马勃化学成分及药理作用研究进展[J]. 现代医药卫生, 2013, 29(3): 386–389.
Guo J, Jiang WX, Fan MS. Studies on chemical constituents and pharmacological effects of *lasiosphaera fenzlii reich* [J]. J Mod Med Health, 2013, 29(3): 386–389.
- [34] 易有金, 谭周进, 肖启明. 蜜环菌的化学成分及其药理作用[J]. 广西科学, 2003, 10(4): 315–316.
Yi YJ, Tan ZHJ, Xiao QM. The medical function and chemical composition of *Armillaria mellea* [J]. Guangxi Sci, 2003, 10(4): 315–316.
- [35] 刘华, 唐琼. 中药灵芝药理作用研究[J]. 中国医药导报, 2009, 6(5): 153–154.
Liu H, Tang Q. Pharmacological effects of *Ganoderma lucidum* [J]. China Med Her, 2009, 6(5): 153–154.
- [36] 李俊峰. 云芝的生物学特征药理作用及应用前景[J]. 安徽农业科学, 2003, 31(3): 509–510.
Li JF. The biological characteristics of the pharmacological effects and application prospects of *Coriolus versicolor* [J]. J Anhui Agric Sci, 2003, 31(3): 509–510.
- [37] 王曦, 梁启明, 李婷婷, 等. 安络小皮伞菌丝体多糖的提取及其抗氧化性研究[J]. 食品科技, 2006, (6): 80–83.
Wang X, Liang QM, Li TT, et al. Study on extraction and anti-oxidation of marasmius androsaceus mycelium polysaccharides [J]. Food Sci Technol, 2006, (6): 80–83.

- [38] 孟庆龙. 药用真菌桑黄发酵产物药理作用的研究[D]. 长春: 吉林农业大学, 2011.
Meng QL. Study on pharmacological effects of fermentation products from medicinal fungi *phelli usignarius* [D]. Changchun: Jilin Agricultural University, 2011.
- [39] 李雪. 裂褶菌液体发酵条件及发酵产物的药理活性研究[D]. 长春: 吉林农业大学, 2008.
Li X. Primarily research on liquid fermentation condition and pharmacologic activity of fermentation production from *Schizophyllum cbmmune* [D]. Changchun: Jilin Agricultural University, 2008.
- [40] 李利, 马立安, 宴涛. 红曲香菇豆瓣酱的制作工艺[J]. 中国调味品, 2012, 37(1): 48-50.
Li L, Ma LA, Yan T. Processing craft of koji broad bean paste mixed with *Lentinula edodes* [J]. China Cond, 2012, 37(1): 48-50.
- [41] 张邦建, 王海峰, 武建新. 冬瓜香菇酸乳饮料的研制[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(3): 1525-1527.
Zhang BJ, Wang HF, Wu JX. Development of lactic acid bacteria beverage containing mixed juices of white gourd and pasania fungus [J]. J Anhui Agric Sci, 2011, 39(3): 1525-1527.
- [42] 邱怡筠, 王超萍, 时伟, 等. 胡萝卜香菇发酵饮料的生产工艺研究[J]. 山东食品发酵, 2011, 161(2): 11-14.
Qiu YJ, Wang CP, Shi W, et al. Research of a fermented beverage from *lentinus edodes* and carrot [J]. Shandong Food Ferment, 2011, 161(2): 11-14.
- [43] 肖枫, 康怀彬. 牛肉香菇辣椒酱加工工艺的研究[J]. 食品科技, 2011, (12): 97-99.
Xiao F, Kang HB. Study on the making of chili sauce with beef and *lentinus edodes* [J]. Food Sci Technol, 2011, (12): 97-99.
- [44] 罗湘云. 金针菇菌丝体发酵培养及成分破壁提取的研究[D]. 成都: 成都理工大学, 2005.
Luo XY. Research on *flarnrnulina velutipe* mycelium fermentation and extraction of cell-wall breaking [D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2005.
- [45] 戴德慧, 周利南, 冯纬. 酱渣食用菌发酵生产功能性饲料的研究[J]. 浙江农业科学, 2010, 2: 406-409.
Dai DH, Zhou LN, Feng W. The study on edible sauce residue production of fermented functional studies [J]. Zhejiang Agric Sci, 2010, 2: 406-409.
- [46] 王鹤祥, 冯霖, 熊秀娥. 以啤酒糟为原料采用液体混和发酵法生产饲料蛋白的初步研究. 氨基酸和生物资源[J]. 氨基酸和生物资源, 1995, 17(2): 7-9.
Wang HX, Feng Lin, Xiong XE. Making protein-feed from beer-lees by mixed culture [J]. Amino Acids Biotic Resour, 1995, 17(2): 7-9.
- [47] Hyde KD, Bahkali AH, Moslem MA. Fungi-an unusual source for cosmetics [J]. Fungal Divers, 2010, 43: 1-9.
- [48] 张智, 焦春伟. 食用菌的抗衰老研究进展[J]. 微生物学杂志, 2010, 30(3): 78-81.
Zhang Z, Jiao CW. Advancement on anti-aging efficacy of edible and officinal fungi [J]. J Microbiol, 2010, 30(3): 78-81.
- [49] 王玢, 任清. 香菇多糖的提取及其抗氧化性和保湿性评价[J]. 食用菌学报, 2008(5): 58-60.
Wang F, Ren Q. Extraction and antioxidant and moisturizing evaluation of *lentinus edodes* [J]. Edible Technol, 2008, (5): 58-60.
- [50] 鲁飞飞, 方兆华. 食用菌的皮肤护理功效以及在化妆品中的应用[J]. 日用化学品科学, 2013, 8: 31-35.
Lu FF, Fang ZH. Effects of edible mushrooms in skin care and application in cosmetics [J]. Deterg Cosmet, 2013, 8: 31-35.
- [51] 彭凯文, 宁正祥. 食用菌的深层发酵培养及其应用[J]. 食品与机械, 1995, 50(6): 34-35.
Peng KW, Ning ZX. Submerged culture of edible fungi and its application [J]. Food Mach, 1995, 50(6): 34-35.

(责任编辑: 白洪健)

作者简介



王 谦, 研究员, 主要研究方向为食药用真菌研究与开发。
E-mail: wq6203_cn@126.com