

竹荪属食用菌国内研究进展

段小明¹, 刘升^{1*}, 贾丽娥¹, 严灿^{1,2}, 王达¹, 张潇方^{1,2}

(1. 北京市农林科学院蔬菜研究中心, 国家蔬菜工程技术研究中心, 北京 100097;

2. 上海海洋大学食品学院, 上海 201306)

摘要: 竹荪属 (*Dictyophora*) 含有很多高档的食用菌, 富含蛋白质、氨基酸、多糖、维生素、微量元素等, 具有很高的营养价值和生物保健功能, 深受消费者欢迎。竹荪属食用菌通常生长在竹林中, 产量较低, 十分稀有。长裙竹荪、短裙竹荪、红托竹荪、棘托竹荪是我国常见的竹荪属食用菌。近年来, 有关竹荪属食用菌的研究报道越来越多, 使消费者和研究学者对竹荪属食用菌有了更进一步的认识。本文从竹荪属食用菌营养成分含量及挥发性成分研究、活性成分提取工艺研究、活性成分功能研究、活性成分的分离纯化和鉴定研究、深加工技术研究及采后保鲜技术研究等方面概述了竹荪属食用菌的国内研究进展。指出了现今竹荪属食用菌研究中存在的一些问题, 并对其发展趋势进行了展望。

关键词: 竹荪属; 食用菌; 活性成分; 保鲜; 加工

Research advances on edible fungus of *Dictyophora* in China

DUAN Xiao-Ming¹, LIU Sheng^{1*}, JIA Li-E¹, YAN Can^{1,2}, WANG Da¹, ZHANG Xiao-Fang^{1,2}

(1. Vegetable Research Center, Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences, National Engineering Research Center for Vegetables, Beijing 100097, China; 2. College of Food Science and Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

ABSTRACT: *Dictyophora* includes many kinds of edible fungus. Edible fungus of *Dictyophora* are rich in protein, amino acids, polysaccharide, vitamins, and micro minerals, so they have high nutrient value and healthy function to human body, and are popular with consumers. Edible funguses of *Dictyophora* usually grow in bamboo forestry and are rare due to their low yield. *Dictyophora indusiata*, *Dictyophora duplicate*, *Dictyophora rubrovolvata*, *Dictyophora echinvolvata* are the common varieties of edible fungus of *Dictyophora* in China. In recent years, more and more researches on edible fungus of *Dictyophora* were reported, so the consumers and researchers had further understanding on them. The research advances of edible fungus of *Dictyophora* in China, including researches on nutrient content and volatile component, extraction process of active ingredient, biological activity and isolation, purification and identification of active ingredient, further processing and postharvest preservation technology were reviewed in this article. The main problems existed in research on edible fungus of *Dictyophora* were described. Trends of research for edible fungus of *Dictyophora* were pros-

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划重点项目(2013BAD19B01, 2015BAD19B02)、北京市农林科学院科技创新能力建设专项资助项目(KJ CX20140205)

Fund: Supported by the National Key Technology R&D Program in the 12th Five Year Plan of China (2013BAD19B01, 2015BAD19B02) and Science and Technology Innovation Special Construction Funded Program of Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences (KJ CX20140205)

*通讯作者: 刘升, 教授级高级工程师, 主要研究方向为果蔬冷链装备和技术及制冷工程。E-mail: liusheng@nercv.org

*Corresponding author: LIU Sheng, Professor Level Senior Engineer, Beijing Vegetable Research Center, Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences, No.50, Zhanghua Village, Haidian District, Beijing 100097, China. E-mail: liusheng@nercv.org

pected.

KEY WORDS: *Dictyophora*; edible fungus; active ingredient; preservation; process

1 引言

竹荪属 (*Dictyophora*) 食用菌以夏季多寄生于枯竹根部而得名, 又名竹蕈、竹参、竹笙、仙人笠、竹君等; 竹荪营养物质丰富, 是名贵的大型食用菌之一, 享有“现代保健食品”、“人类植物性食品的顶峰”、“真菌之花”、“菌中皇后”、“雪裙仙子”、“山珍之花”等美誉^[1,2]。竹荪包含菌丝体和子实体两部分, 菌丝体是竹荪的营养体, 子实体由菌托、菌柄、菌裙和菌盖4部分组成^[3]。

我国是最早食用竹荪、最先实现竹荪人工驯化栽培的国家; 全世界目前已报道的竹荪共有12种, 主要分布于中国、印度、斯里兰卡、非洲、澳大利亚、北美、南美及东西印度群岛。竹荪在我国分布有7种: 长裙竹荪 (*Dictyophora indusiata*)、短裙竹荪 (*Dictyophora duplicata*)、黄裙竹荪 (*Dictyophora multicolor*)、朱红竹荪 (*Dictyophora cinabarina*)、皱盖竹荪 (*Dictyophora merulina*)、红托竹荪 (*Dictyophora rubrovolvata*) 和棘托竹荪 (*Dictyophora echinvolvata*)^[4]。市场上常见的竹荪属食用菌有短裙、长裙、红托、棘托竹荪等4个品种^[5]。近年来, 很多学者在竹荪属食用菌研究方面取得了很多的成果。本文对竹荪属食用菌国内研究进展进行概述, 阐述了目前竹荪属食用菌研究中存在的问题及其发展趋势, 以期对竹荪产业的发展提供一定理论指导, 提升竹荪属食用菌的研究水平。

2 竹荪营养成分含量及挥发性成分研究

竹荪具有很高的营养价值, 深受消费者欢迎, 其化学成分是学者们研究的热点之一。竹荪的化学成分因品种、栽培方式、菌体部位等的不同而存在一定差别。林玉满^[6]测定了长裙竹荪子实体不同部位(菌裙、菌柄和菌托)中微量元素(Na、Mg、Ca、K、Fe、P、Cu、Mn和Zn)的含量

后发现, 上述微量元素均存在于子实体的不同部位, K元素含量最高。Zn、P元素菌裙含量最低, 菌托含量最高; Na、Mg和Ca元素, 菌柄含量最低; K元素菌托含量最低; Cu元素菌裙含量最低; Mn元素菌柄含量最高; Fe元素在子实体中分布较均匀。饶先军等^[7]对红托竹荪鲜品中各种营养成分进行了测定, 结果显示竹荪水分、可溶性蛋白、游离氨基酸、谷氨酸、类黄酮、维生素C(vitamin C, Vc)和总糖含量分别为89.86%、181.05 mg/100 g、308.780 mg/100 g·FW、133.576 mg/100 g·FW、22.5 mg/100 g、106.77 mg/100 g、285.59 mg/100 g。挥发性成分是体现竹荪风味的物质, 同时蒸馏萃取-气相色谱-质谱联用(simultaneous-dist extraction + gas chromatography-mass spectrometry, SDE+GC-MS)技术是测定竹荪挥发性成分的主要手段, 不同种类的竹荪挥发性成分中含有的化合物的总数和种类存在较大差别(见表1)。

3 竹荪活性成分提取工艺研究

竹荪富含多种活性成分, 提取方法主要包括酶法提取、水提取、有机溶剂提取、超声波提取、超临界CO₂提取等。很多学者对竹荪中不同活性成分的提取工艺进行了研究, 确定了关键的提取参数(见表2)。

4 竹荪中活性成分功能研究

4.1 抑菌作用

竹荪中含有抑菌成分, 竹荪提取物的抑菌效果与竹荪的种类、提取溶剂关系密切。目前, 抑菌活性方面研究较多的竹荪种类是棘托和长裙竹荪(见表3)。研究表明, 竹荪水提物、乙酸乙酯提取物的抑菌效果较好, 对细菌的抑制作用强于真菌。竹荪在食品保鲜方面有潜在应用价值。

表1 竹荪挥发性成分研究
Table 1 Volatile compounds of *Dictyophora*

样品	化合物总数	醛类	酮类	醇类	酚类	酯类	酸类	烃类	杂环类	芳香类	其他类	参考文献
棘托竹荪	74	8	6	18	--	--	6	16	8	5	7	[8]
长裙竹荪	70	10	13	5	4	4	5	12	17	--	--	[9]
红托竹荪	108	11	8	9	2	15	23	17	17	--	6	[10]
红托竹荪	82	11	10	6	2	9	19	14	--	--	11	[11]

表 2 竹荪活性成分提取工艺研究
Table 2 Extraction processing of active component in *Dictyophora*

提取成分	样品	方法	评价指标	最优工艺参数	文献
多糖	竹荪干品	酶法	得率(%)	质量分数为 2%的果胶酶在 45 °C和 pH 4.5 的条件下水解 2 h	[12]
	长裙竹荪菌丝体	水提醇沉	得率(%)	提取温度 60 °C, 浸提时间 2 h, 液料比 30:1, 浸提次数 2 次	[2]
	红托竹荪	水提醇沉	得率(%)	温度 90 °C, 料液比 1:20(m:V), 水提时间 2 h, 酒精浓度 70%	[13]
	棘托竹荪菌盖	水提醇沉	得率(%)	提取温度 95 °C, 料液比 1:39(m:V), 提取次数为 3, 提取时间 3.5 h	[14]
	竹荪子实体	水浴振荡	得率(%)	提取温度 95 °C、pH 2.0、料液比 1:33、提取时间 2 h	[15]
	竹荪	超声复合酶法	得率(%)	料液比 1:50, 纤维素酶 0.25%、果胶酶 0.5%、木瓜蛋白酶 1.0%; 酶解时间 60 min, 酶解 pH 6, 酶解温度 50 °C; 超声时间 40 min; 超声功率 500 W	[16]
	短裙竹荪	水提醇沉	多糖浓度(mg/mL)	提取温度 60 °C, 提取时间 2 h, 浸提 2 次, 液料比 40:1	[17]
抗氧化物质	长裙竹荪	超声波循环	DPPH·清除率(%)	提取温度 45 °C, 超声功率 580 W, 工作间歇比(超声时间与间歇时间比值)3.6/1; 提取时间 15 min	[18]
	长裙竹荪	超声波循环(醇提)	DPPH·清除率(%)	提取温度 40 °C, 超声功率 600 W, 间歇比 3:1, 投料量 8%, 提取时间 15 min, 乙醇浓度 80%	[19]
	长裙竹荪干品	醇提	DPPH·清除率(%)	乙醇浓度 90%, 回流温度 90 °C, 料液比 1:35, 回流时间 2.5 h, 提取次数 1 次	[20]
	竹荪	醇提	得率/%	回流提取时间 3 h, 回流提取温度 80 °C, 液固比 30:1, 乙醇溶液体积分数 70%。	[21]
抑菌成分	长裙竹荪	醇提	浸提物质量	竹荪干粉细度 80 目, 超声(45 kHz)破碎 20 min, 0.1%复合果胶酶, 酶解时间 1 h; 浸提 8 h, 浸提温度 80 °C, 料液比 1:15	[22]
	棘托竹荪	超临界 CO ₂ 萃取	抑菌率/%	萃取压力 20 MPa, 温度 35 °C, 时间 120 min	[23]
	长裙竹荪	乙酸乙酯提取	抑菌圈直径/mm	浸提温度 80 °C, 打浆时间 30 s, 浓缩体积 5 mL	[24]

注: DPPH·(diphenyl picryl hydrazinyl radical): DPPH 自由基

表 3 竹荪抑菌功能研究
Table 3 Antibacterial effect of *Dictyophora*

种类	提取方法	抑制菌种	文献
长裙竹荪	乙醇提取	大肠杆菌、金黄色葡萄球菌、枯草芽孢杆菌、啤酒酵母、黑曲霉、单增李斯特菌、肠炎沙门菌、副溶血性弧菌	[25, 26]
	水提取	大肠杆菌、金黄色葡萄球菌、枯草芽孢杆菌	[25]
	水蒸气蒸馏或正丁醇提取	单增李斯特菌、金黄色葡萄球菌、副溶血性弧菌、大肠杆菌、荧光假单胞菌、植物乳杆菌	[23]
	石油醚提取	单增李斯特菌、金黄色葡萄球菌、肠炎沙门菌、大肠杆菌、副溶血性弧菌	[26]
长裙竹荪发酵液	乙酸乙酯萃取	金黄色葡萄球菌、大肠杆菌、枯草芽孢杆菌、红色面包霉和枇杷炭疽病菌	[27]
	正丁醇萃取	大肠、枯草芽孢杆菌	[27]
	水蒸气蒸馏	单增李斯特菌、金黄色葡萄球菌、副溶血性弧菌、大肠杆菌、荧光假单胞菌、植物乳杆菌、桔黄青霉、啤酒酵母、黑根霉、黑曲霉	[23, 26]
棘托竹荪	石油醚或乙醇提取	单增李斯特菌、金黄色葡萄球菌、副溶血性弧菌、大肠杆菌、荧光假单胞菌、植物乳杆菌、肠炎沙门菌、副溶血性弧菌	[23, 26]
	正丁醇提取	单增李斯特菌、金黄色葡萄球菌、副溶血性弧菌、大肠杆菌、荧光假单胞菌、植物乳杆菌	[23]

4.2 抗氧化作用

竹荪中的多糖、酚类和黄酮类物质等具有抗氧化的作用,一般选取总还原能力、羟自由基($\cdot\text{OH}$)、超氧阴离子自由基($\cdot\text{O}_2^-$)和 DPPH 自由基(diphenyl picryl hydrazinyl radical) 的清除能力作为评价物质体外抗氧化作用强弱的指标。目前竹荪体外抗氧化活性的报道以红托竹荪中提取的多糖组分为主。红托竹荪多糖体外的抗氧化作用受竹荪的不同部位、抗氧化物质的提取方法、多糖质量浓度等多方面因素的影响(见表 4)。

受到酶、pH 等因素的影响,抗氧化物质在生物体内的抗氧化活性与体外抗氧化活性存在一定区别,一些学者通过模拟人体环境或小鼠试验对竹荪体内的抗氧化活性进行了研究。吴泉铨^[21]的研究表明,模拟人体肠道消化系统 37 °C 条件下,反应体系中竹荪总黄酮浓度为 1 $\mu\text{mol/L}$,胰蛋白酶含量为 1.20 mg,二者作用 10 min 后,其对 DPPH \cdot 、ABTS \cdot (2,2'-联氮-二-(3-乙基-苯并噻唑啉-6-磺酸, 2,2'-azino-bis(3-ethylbenzthiazoline-6-sulfonic acid)、 $\cdot\text{OH}$ 的清除率分别下降了 23.3%、27.1%、26.8%。这是由于黄酮分子中含有酚羟基,进入人体后与消化道中的酶结合,影响黄酮抗氧化活性的发挥而导致。罗鹏等^[32]采用三氧化二砷(As_2O_3)制备砷中毒肝脏脂质过氧化损伤小鼠模型,研究竹荪提取液对小鼠肝脏脂质过氧化(lipid peroxide, LPO)水平的影响。结果发现竹荪提取液具有提高超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)、谷胱甘肽过氧化物酶(glutathione peroxidase, GSH-Px)活力的作用,对 As_2O_3 所致小鼠肝脏脂质过氧化损伤具有一定保护作用。

4.3 抗癌作用

竹荪多糖对多种癌细胞也有一定的抑制作用。丁瑞等^[17]以不同浓度的竹荪多糖对不同肿瘤细胞用药,研究竹

荪多糖对肿瘤细胞的增殖抑制作用。在相同浓度、作用 48 h 条件下,竹荪多糖对 HeLa 细胞的抑制率高于 A549 细胞。抑制率随竹荪多糖浓度增加而增加。王小红等^[33]研究不同浓度(0、1、2 mg/mL)的竹荪水提物对路易斯肺癌细胞(LLC)的抑制效果。发现与对照组比较,竹荪水提物处理组 LLC 细胞数量明显降低,高浓度组细胞生长状态不佳;细胞计数试剂盒(CCK-8)检测结果显示,高浓度组 OD450 值仅为对照组的一半,细胞增殖明显受到抑制;流式细胞学检测表明竹荪水提物处理组 LLC 早期凋亡比例、凋亡及死亡细胞比例均显著升高,竹荪水提物可以抑制 LLC 生长。赵凯等^[34]将红托竹荪菌托多糖提取、分离纯化和结构鉴定后进行体外试验,发现不同浓度红托竹荪菌托多糖的组分 DRVP1(50、100、200、500、1000 $\mu\text{g/mL}$)对小鼠腹水型肝癌肿瘤(S180)有一定抑制作用,浓度越高,抑制效果越强。

5 竹荪中活性成分的分离纯化和鉴定

竹荪的生物活性功能已经得到很多研究试验的验证,竹荪富含多种生物活性成分,具有很好的人体保健功能,但生物活性物质的具体组成成分仍需深入研究,为其作用机制提供理论依据。许多学者对竹荪中的活性成分如多糖、凝集素等进行分离纯化和鉴定,获知其具体构成、分子量等信息(见表 5)。

6 竹荪深加工技术

竹荪营养价值高,但货架期短,通过深加工处理可提升竹荪的经济价值。一些学者将竹荪加工为饮料、酒类、冰淇淋等(见表 6)。

表 4 红托竹荪体外抗氧化功能研究
Table 4 *In vitro* antioxidant effect of *Dictyophora rubrovolvata*

部位	提取方法	抗氧化指标	结果	文献
子实体	水提	$\cdot\text{OH}$ 、DPPH \cdot 、 $\cdot\text{O}_2^-$ 清除率	多糖(质量浓度 0.2~1.2 mg/mL)对 DPPH \cdot 、 $\cdot\text{OH}$ 、 $\cdot\text{O}_2^-$ 的 EC50 值分别为 1.468、2.580 和 2.330,抗氧化活性略高于 BHT,但低于 Vc。	[29]
子实体	水提	$\cdot\text{OH}$ 和 $\cdot\text{O}_2^-$ 的清除及还原能力	多糖对 $\cdot\text{OH}$ 和 $\cdot\text{O}_2^-$ 具有较强的清除作用,其 IC50 值分别为 0.51 mg/mL 和 0.83 mg/mL。	[30]
菌盖、菌柄、菌托	乙醇提取	铁氰化钾还原能力;清除 $\cdot\text{O}_2^-$ 能力	多糖抗氧化能力与其质量浓度有量效关系。多糖含量大小依次为菌托 > 菌柄 > 菌盖。菌托多糖的抗氧化活性最高。	[13]
菌盖	水提	还原能力的测定、清除 $\cdot\text{OH}$ 、清除 $\cdot\text{O}_2^-$	多糖具有较强的还原能力和抑制 $\cdot\text{OH}$ 的能力。随着多糖质量浓度的升高,还原能力和抑制 $\cdot\text{OH}$ 能力相应提高,但对 $\cdot\text{O}_2^-$ 的抑制能力较弱。	[31]

注: EC50(concentration for 50% of maximal effect): 半数清除率; BHT(butylated hydroxytoluene): 2, 6-二叔丁基-4-甲基苯酚; IC50(half maximal inhibitory concentration): 半数抑制率。

表 5 竹荪成分的分离纯化和鉴定研究
Table 5 Isolation, purification and identification of components from *Dictyophora*

样品	前处理	纯化物	分离纯化方法	鉴定结果	文献
棘托竹荪	生理盐水抽提、硫酸铵沉淀	凝集素	DEAE-Sepharose; Sephadex G-100 柱层析	分子量 38000, 等电点 4.21。含 15 种氨基酸, 天冬氨酸、谷氨酸、甘氨酸和缬氨酸含量较高。	[35]
长裙竹荪	2%Na ₂ CO ₃ 提取, 蛋白酶和 Sevage 法除蛋白, 乙醇沉淀	多糖 Di-S2P	DEAE-Sephadex A-25 柱层析; 纸层析和气相层析	分子量约为 8.7×10 ⁵ , 含有 D-葡萄糖、D-半乳糖、D-甘露糖和 D-木糖, 其摩尔比为 1.62:1.87:1.00:0.93。	[36]
短裙竹荪	3%三氯乙酸提取、乙醇沉淀	水溶性多糖 Dd-2DE	DEAE-cellulose; Sephadex G-200 柱层析	分子量约为 76000Da, 含 D-葡萄糖、D-半乳糖、D-甘露糖、L-岩藻糖和 D-木糖, 其单糖摩尔比为 0.47:1.72:1.00:0.18:0.21。	[37]
短裙竹荪	生理盐水抽提、硫酸铵沉淀	凝集素	DEAE-Sepharose; Sephadex G-100 柱层析	分子量为 45.3 kDa, 不含中性糖, 等电点 3.92; 含有 17 种氨基酸, 其中天冬氨酸、丝氨酸、苯丙氨酸和丙氨酸含量较高。	[38]
短裙竹荪	2%Na ₂ CO ₃ 溶液提取, 蛋白酶和 Sevage 法除蛋白, 乙醇沉淀	多糖 Dd-S3P	DEAE-Sephadex A-25 柱层析	分子量约为 3.8×10 ⁵ , 含有 D-葡萄糖、D-甘露糖和 D-木糖, 其摩尔比为 1.83:1.00:1.21	[39]
短裙竹荪	热水提取、乙醇沉淀	多糖 DdM-S	DEAE-Sephadex A-25; Sephadex G-200 柱层析	分子量约为 199 kDa, 单糖组成为 D-葡萄糖、D-甘露糖和 L-岩藻糖, 其摩尔比为 1.28:1.00:0.36。	[40]
短裙竹荪	热水抽提、乙醇沉淀	糖蛋白 DdGP-3P3	DEAE-Cellulose 柱层析	分子量 113 KDa, 糖和蛋白的连接键为 O-型糖肽键; 含有 D-葡萄糖、D-甘露糖和 D-半乳糖, 其摩尔比为 2.01:1.00:1.23, 含 16 种氨基酸。	[41]
红托竹荪	热水提取、乙醇沉淀; Sevage 法脱蛋白	多糖 Dr-1、Dr-2、Dr-3	Sephadex G-15 葡聚糖凝胶柱层析	Dr-1, Dr-2, Dr-3 均由半乳糖、葡萄糖、甘露糖和木糖组成。	[42]

表 6 竹荪深加工技术研究
Table 6 Further processing technology of *Dictyophora*

类别	原料	原料配比	辅料及配比	文献
酒类	新鲜竹荪; 活性干酵母	竹荪汁体积不超过发酵罐的 4/5; 活性干酵母 5%	果胶酶 0.5~0.8 g/L; 偏重亚硫酸钠 15 g/100 kg; 0.4 g/100 g 明胶溶液 3.0 mL; 0.3 g/100 g 单宁溶液 2.4 mL; 总糖度 20 g/100 g	[43]
	竹荪; 干燥黄精	每 250 mL 含黄精 7 g, 竹荪菌柄切片 6 g)	9%果葡糖浆, 0.15%柠檬酸, 0.02%V _C , 0.06%NaCl	[44]
饮料	竹荪; 银耳; 香菇; 姬松茸	银耳液 30%、香菇液 40%、竹荪液 10%、姬松茸液 10%	0.75%蔗糖, 0.100%葡萄糖, 0.025%柠檬酸, 0.500%香叶水	[45]
	竹荪; 大豆; 脱脂奶粉	脱脂奶粉:竹荪浸提液=1:2, 脱脂奶粉、竹荪浸提液和豆乳混合后的固形物含量为 12%	10%蔗糖, 0.20%复合稳定剂, 0.10%CMC, 0.04%PGA, 2%发酵剂, 10%果汁, 100~150 g 柠檬酸	[46]
冰淇淋	新鲜竹荪	竹荪汁或竹荪浆 10.0%	巧克力 1.5%、全脂淡乳粉 11.0%、白砂糖 10.0%、人造奶油 4.0%、鸡蛋 5.0%、稳定剂 0.5%、香兰素 0.1%	[47]

7 竹荪的保鲜技术

竹荪含水量高,营养物质丰富,鲜品极易腐败,市场流通受限,为延长竹荪的货架期,部分学者进行了相关研究。黄志鸿等^[48]以邻苯二酚为底物,采用分光光度法研究了不同抑制剂对棘托竹荪子实体多酚氧化酶(polyphenol oxidase, PPO)活性的影响。结果表明: L-半胱氨酸(L-Cys)、氯化钠(NaCl)、Vc 和柠檬酸(C₆H₈O₇)等对 PPO 均有抑制作用。复合抑制剂(5.0 g/L L-Cys+20.0 g/L NaCl+1.5 g/L Vc+10.0 g/L C₆H₈O₇)可完全抑制 PPO 的活性。张路等^[49]研究了 0 °C 自发气调(modified atmosphere packaging, MAP)、控制气调(controlled atmosphere, CA)(2%~3% O₂、2%~3% CO₂)、25 °C MAP 和 MAP 加湿(CK)这 4 种贮藏条件下竹荪子实体干品的水分含量、色泽和霉菌总数、细菌总数等的变化规律。结果表明,综合保鲜效果为 0 °C CA > 0 °C MAP > 25 °C MAP > 25 °C MAP 加湿处理;贮藏 225 d 后,与对照相比,0 °C CA 处理竹荪的水分含量较高,色度值、霉菌总数和细菌总数均较低。

8 竹荪属食用菌国内研究中存在的问题及其发展趋势

众多学者针对竹荪进行了大量的研究,在竹荪营养成分分析,挥发性成分,活性成分提取工艺、功能研究及其分离纯化鉴定,深加工和保鲜等方面均取得了一定的研究进展,但竹荪的研究主要集中在化学成分分离鉴定与生物活性功能方面,仍不够全面和深入。竹荪鲜品保鲜的研究仍十分匮乏,竹荪采后生理变化和品质控制等有待深入研究,以期实现竹荪的鲜品流通;竹荪活性成分功能方面的研究虽有一定进展,但仍然只停留在子实体上,而竹荪的菌盖、菌托在采摘后往往被废弃,造成极大的资源浪费^[50],竹荪活性成分的化学组成和活性功能的作用机制仍不够明确;竹荪深加工形式比较单一,深加工产品匮乏。

竹荪含有多糖、糖蛋白等生物活性物质,保健功能受到了研究人员的广泛关注,开发竹荪风味的调味品及高级保健饮料等产品会受到消费者青睐,有着广阔的前景^[51]。为实现竹荪鲜品流通,竹荪深加工产品进入市场,更多的研究需要深入展开。

参考文献

- [1] 华洋林,高擎,唐健,等. 同产地竹荪营养成分的比较研究[J]. 食品工业科技, 2011, 32(10): 418-420.
Hua YL, Gao Q, Tang J, et al. Study on comparison of nutritional components in fruiting bodies of *Dictyophora indusiata* from different regions [J]. Sci Technol Food Ind, 2011, 32(10): 418-420.
- [2] 何惠. 长裙竹荪菌丝体多糖的提取条件及抑菌性研究[J]. 贵州农业科学, 2010, 38(9): 93-95.
He H. Extraction and bacteriostasis of polysaccharide extracted from *Dictyophora indusiata* mycelium [J]. Guizhou Agric Sci, 2010, 38(9): 93-95.
- [3] 郑杨,邹青青,张岱,等. 竹荪的化学成分及生理活性研究进展[J]. 食品科学技术学报, 2013, 31(3): 39-45.
Zheng Y, Zou QQ, Zhang D, et al. Research progress on chemical composition and biological activities of *Dictyophora indusiata* [J]. J Food Sci Technol, 2013, 31(3): 39-45.
- [4] 暴增海,马桂珍. 我国的竹荪资源及其开发利用[J]. 自然资源, 1994, (3): 68-71.
Bao ZH, Ma GZ. The *Dictyophora* resource and its development and utilization in China [J]. Nat Res, 1994, (3): 68-71.
- [5] 黄明泉,孙宝国,田红玉,等. 棘托竹荪蛋中的挥发性成分分析研究[J]. 食品工业科技, 2012, 33(7): 353-357.
Huang MQ, Sun BG, Tian HY, et al. Study on identification of volatile compounds from dried embryo of *Dictyophora Echinovolvata* Zang, Zheng et Hu [J]. Sci Technol Food Ind, 2012, 33(7): 353-357.
- [6] 林玉满. 扫描电镜和 X 射线能谱仪对长裙竹荪子实体常见微量元素的定性定量分析[J]. 分析仪器, 1996, (2): 52-54.
Lin YM. Qualitative and quantitative determination of trace elements in fruits of *dictyophora indusiata* with SEM and EDAX [J]. Anal Instrum, 1996, (2): 52-54.
- [7] 饶先军,汪立成,刘春梅,等. 红托竹荪中营养成分的测定与研究[J]. 食品与发酵科技, 2013, 49(2): 78-80.
Rao XJ, Wang LC, Liu CM, et al. Determination and study of nutrient on *LongNet Stinkhorn*[J]. Food Ferment Technol, 2013, 49(2): 78-80.
- [8] 郑杨,黄明泉,孙宝国,等. 棘托竹荪挥发性成分分析[J]. 食品科学, 2012, 33(20): 221-226.
Zheng Y, Huang MQ, Sun BG, et al. Analysis of volatile compounds of *Dictyophora echinovolvata* Zang, Zheng et Hu [J]. Food Sci, 2012, 33(20): 221-226.
- [9] 陈曦,黄明泉,孙宝国,等. 同时蒸馏萃取-气相色谱-质谱联用分析长裙竹荪挥发性成分[J]. 食品科学, 2012, 33(14): 129-135.
Chen X, Huang MQ, Sun BG, et al. Simultaneous distillation extraction and GC-MS analysis of volatile components in *Dictyophora indusiata* fisch [J]. Food Sci, 2012, 33(14): 129-135.
- [10] 邹青青,黄明泉,孙宝国,等. 同时蒸馏萃取结合 GC-MS 分析红托竹荪挥发性成分[J]. 食品工业科技, 2011, 32(10): 425-430.
Zou QQ, Huang MQ, Sun BG, et al. Analysis of volatile components in *Dictyophora rubrovolata* Zang, ji et liou by simultaneous distillation extraction and GC-MS [J]. Sci Technol Food Ind, 2011, 32(10): 425-430.
- [11] Hang NQ, Zou QQ, Tian HY, et al. Analysis of volatile components from *Dictyophora rubrovolata* Zang, ji et liou [J]. Proc Eng, 2012, 37: 240-249.
- [12] 郑宝东,陈楚璧. 竹荪酶法提取营养成分的研究[J]. 福建农业大学学报, 1995, 24(4): 491-494.
Zheng BD, Chen CY. Studies on nutritional ingredients of *Dictyophore* extracted by enzyme [J]. J Fujian Agric Univ, 1995, 24(4): 491-494.
- [13] 徐耀. 红托竹荪不同部位多糖提取及体外抗氧化活性研究[J]. 食品工业科技, 2012, 33(24): 350-352, 368.
Xu Y. Extraction technology and antioxidant activity of polysaccharides of different parts of *Dictyophora rubrovalvata* in vitro [J]. Sci Technol Food Ind, 2012, 33(24): 350-352, 368.
- [14] 范巧宁,张伟刚,赵珮,等. 棘托竹荪菌盖多糖的提取及体外抗氧化活性的研究[J]. 食品工业科技, 2013, 34(23): 112-117.
Fan QN, Zhang WG, Zhao P, et al. Extraction and antioxidant activity in

- in vitro* of polysaccharides from *Pileus of Dictyophora echinovolva* [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2013, 34(23): 112–117.
- [15] 高擎, 华洋林, 赵谋明, 等. 响应面法优化提取竹荪多糖的工艺研究[J]. *现代食品科技*, 2010, 26(8): 826–829.
Gao Q, Hua YL, Zhao MM, *et al.* Optimization of the extraction of polysaccharides from *Dictyophora indusiata* [J]. *Mod Food Sci Technol*, 2010, 26(8): 826–829.
- [16] 张素斌, 李晓平. 竹荪多糖提取方法的比较研究[J]. *食品工业科技*, 2013, 34(14): 246–250.
Zhang SB, Li XP Comparative study on extraction methods of *Dictyophora indusiata* polysaccharide [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2013, 34(14): 246–250.
- [17] 丁瑞瑞, 令狐娅, 郭春连, 等. 竹荪多糖提取工艺及其对肿瘤抑制作用的研究[J]. *广州化工*, 2014, 42(15): 61–63.
Ding RR, Ling HY, Guo CL, *et al.* Optimization of extraction technique of bamboo fungus polysaccharide and its inhibition in tumor cells [J]. *Guangzhou Chem Ind*, 2014, 42(15): 61–63.
- [18] 王宏雨. 响应面法优化超声波循环提取长裙竹荪抗氧化物质工艺研究[J]. *食用菌学报*, 2012, 19(1): 56–60.
Wang HY. Optimization of ultrasound-assisted extraction of antioxidant components from *dictyophora indusiata* using response surface methodology [J]. *Acta Edulis Fungi*, 2012, 19(1): 56–60.
- [19] 王宏雨, 毛方华, 陈体强, 等. 竹荪抗氧化物质超声波循环提取工艺[J]. *福建农业学报*, 2012, 27(7): 743–746.
Wang HY, Mao FH, Chen TQ, *et al.* Ultrasonic circulating extraction of total antioxidant substances from *Dictyophora indusiata* [J]. *Fujian J Agric Sci*, 2012, 27(7): 743–746.
- [20] 王宏雨. 食用菌抗氧化活性研究及竹荪抗氧化物质提取工艺优化[D]. 福州: 福建农林大学, 2010.
Wang HY. Study on antioxidant activities of mushrooms and extraction process optimization for *dictyophora indusiata* [D]. Fuzhou: Fujian Agric Forest Univ, 2010.
- [21] 吴泉琦. 竹荪乙醇提取物抗氧化活性研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2014.
Wu XQ. Study on antioxidant activity of ethanol extract of *Dictyophora* [D]. Fuzhou: Fujian Agric Forest Univ, 2014.
- [22] 郝景雯, 张刚, 韩慧, 等. 长裙竹荪乙醇提取工艺及抑菌作用研究[J]. *食品工业科技*, 2008, 29(10): 123–127
Hao JW, Zhang G, Han H, *et al.* Study on the extracted method of *Dictyophora indusia fischer* and its antimicrobial action [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2008, 29(10): 123–127.
- [23] 曹奕. 竹荪中抑菌物质的提取方法优化及其抑菌机理的初步探究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2013.
Cao Y. Research on the optimizational extraction of antibacterial substances from dictyophora and its antibacterial mechanism[D]. Shanghai: Shanghai Ocean Univ, 2013.
- [24] 谭敬军, 胡亚平, 吴晗晗. 竹荪抑菌作用研究[J]. *食品科学*, 2000, 21(10): 54–56.
Tan JJ, Hu YP, Wu HH. Study on antimicrobial actions of *Dictyophora indusiata* [J]. *Food Sci*, 2000, 21(10): 54–56.
- [25] 郝景雯, 贾士儒, 张刚. 长裙竹荪乙醇提取物与水提取物抑菌作用研究[J]. *食品研究与开发*, 2010, 31(10): 8–10.
Hao JW, Jia SR, Zhang G. Comparison on the antimicrobial activity of ethanol and water extracts of *Dictyophora Indusia Fisscher* [J]. *Food Res Dev*, 2010, 31(10): 8–10.
- [26] 刘文波, 赵勇, 孙晓红, 等. 竹荪提取物对食源性细菌的抑菌特性研究[J]. *微生物学杂志*, 2013, 33(4): 50–54.
Liu WB, Zhao Y, Sun XH, *et al.* Inhibition effects of *Zhusun (Dictyophora spp.)* extract on foodborne pathogens [J]. *J Microbiol*, 2013, 33(4): 50–54.
- [27] 欧阳桐娇, 林勇, 张迪, 等. 长裙竹荪发酵液抗菌活性初步研究[J]. *江西农业学报*, 2012, 24(6): 76–79.
Ouyang TJ, Lin Y, Zhang D, *et al.* Preliminary study on antimicrobial activity of fermentation liquor of *Dictyophora indusial* [J]. *Acta Agric Jiangxi*, 2012, 24(6): 76–79.
- [28] 檀东飞, 吴若菁, 梁鸣, 等. 棘托竹荪挥发油化学成分及抑菌作用的研究[J]. *菌物系统*, 2002, 21(2): 228–233.
Tan DF, Wu RJ, Liang M, *et al.* Studies on chemical compositions and antimicrobial activity of volatile oil of *Dictyophora echinovolva* [J]. *Mycosystema*, 2002, 21(2): 228–233.
- [29] 王蓓蓓, 段玉峰, 邵红军, 等. 红托竹荪多糖抗氧化活性的研究[J]. *天然产物研究与开发*, 2012, 24: 1122–1125.
Wang BB, Duan YF, Shao HJ, *et al.* Antioxidant activity of polysaccharide from *Dictyophora rubrovalvata* [J]. *Nat Prod Res Dev*, 2012, 24: 1122–1125.
- [30] 叶敏. 红托竹荪多糖的提取工艺及其体外抗氧化活性[J]. *贵州农业科学*, 2012, 40(12): 172–175.
Ye M. Extraction technology and *in vitro* antioxidant activity of polysaccharides from *dictyophora rubrovalvata* [J]. *Guizhou Agric Sci*, 2012, 40(12): 172–175.
- [31] 庄永亮, 孙丽平, 尚小丽. 红托竹荪菌盖多糖的提取及抗氧化能力的研究[J]. *林产化学与工业*, 2011, 31(3): 45–49.
Zhuang YL, Sun LP, Shang XL. Extraction and Antioxidant Activities of Polysaccharides from *Pileus of Dictyophora rubrovalvata* [J]. *Chem Ind Forest Prod*, 2011, 31(3): 45–49.
- [32] 罗鹏, 张爱华, 汪希兰, 等. 竹荪提取液对抗砷致小鼠肝脏氧化损伤的影响[J]. *中国地方病学杂志*, 2002, 21(1): 11–13.
Luo P, Zhang AH, Wang XL, *et al.* Influence of the extract from dictyophora study on the liver lipid peroxidation caused by arsenic in mice [J]. *Chin J Endemiol*, 2002, 21(1): 11–13.
- [33] 王小红, 江洪, 余新民. 竹荪水提取物对路易斯肺癌细胞的抑制效应研究[J]. *中国医药导报*, 2014, 11(16): 9–11, 19.
Wang XH, Jiang H, Yu XM. Inhibition effect study of aqueous extract from *dictyophora indusiata* on lewis lung cancer cell [J]. *China Med Her*, 2014, 11(16): 9–11, 19.
- [34] 赵凯, 王飞娟, 潘薛波, 等. 红托竹荪菌托多糖的提取及抗肿瘤活性的初步研究[J]. *菌物学报*, 2008, 27(2): 289–296.
Zhao K, Wang FJ, Pan XB, *et al.* Extraction and primary investigation of antitumor activity of polysaccharides from the volva of *Dictyophora rubrovolvata* [J]. *Mycosystema*, 2008, 27(2): 289–296.
- [35] 林玉满, 苏爱华. 棘托竹荪凝集素的纯化及其生化特性[J]. *植物资源与环境学报*, 2004, 13(3): 1–6.
Lin YM, Su AH. Purification and characterization of the lectin from *Dictyophora echinovolva* [J]. *J Plant Resour Environ*, 2004, 13(3): 1–6.
- [36] 林玉满. 长裙竹荪多糖 Di-S2P 的分离纯化和鉴定[J]. *中国食用菌*, 2002, 22(2): 40–42
Lin YM. Isolation, purification and identification of polysaccharide

- Di-S2P from *Dictyophora indusiata* [J]. Edible Fungi China, 2002, 22(2): 40-42.
- [37] 林玉满, 鄢春生, 余萍. 短裙竹荪子实体酸提水溶性多糖的研究——Dd-2DE 的分离纯化和组成鉴定[J]. 福建师范大学学报(自然科学版), 1998, 14(2): 62-66.
- Lin YM, Yan CS, Yu P. Studies on Soluble polysaccharide by acid extraction from *Dictyophora duplicata*—Isolation, purification and identification of Dd-2DE [J]. J Fujian Normal Univ (Nat Sci), 1998, 14(2): 62-66.
- [38] 林玉满, 苏爱华. 短裙竹荪(*Dictyophora duplicata*)凝集素纯化与生化性质[J]. 中国生物化学与分子生物学报, 2005, 21(1): 101-107.
- Lin YM, Su AH. Purification and characterization of lectin from *Dictyophora duplicata* [J]. Chin J Biochem Mol Biol, 2005, 21(1): 101-107.
- [39] 林玉满. 短裙竹荪多糖Dd-S3P的分离纯化及其性质研究[J]. 生物化学杂志, 1997, 13(1): 99-102.
- Lin YM. Isolation, purification and characterization of polysaccharide Dd-S3P from *Dictyophora duplicata* (*Bosc*) Fischer [J]. Chin Biochem J, 1997, 13(1): 99-102.
- [40] 林玉满. 短裙竹荪菌丝体多糖 DdM-S 提取及其性质[J]. 中国食用菌, 2003, 22(6): 52-53.
- Lin YM. Purification and characterization of polysaccharide DdM-S from the submerged mycelium of *Dictyophora duplicata* [J]. Edible Fungi China, 2003, 22(6): 52-53.
- [41] 林玉满, 余萍. 短裙竹荪菌丝体糖蛋白 DdGP-3P3 纯化及性质研究[J]. 福建师范大学学报(自然科学版), 2003, 19(1): 91-94.
- Lin YM, Yu P. Purification and characterization of glycoprotein DdGP-3P3 from the submerged mycelium of *Dictyophora duplicata* [J]. J Fujian Normal Univ (Nat Sci), 2003, 19(1): 91-94.
- [42] 连宾, 郁建平. 红托竹荪多糖的提取分离及组成研究[J]. 食品科学, 2004, 25(3): 43-45.
- Lian B, Yu JP. Study on the polysaccharides extraction from mushroom *Dictyophora rubrovalvata* by TLC [J]. Food Sci, 2004, 25(3): 43-45.
- [43] 黄聪亮, 李凤林. 竹荪酒的研制[J]. 食品工程, 2007, (4): 31-33.
- Huang CL, Li FL. Study on the production technology of *dictyophora* wine [J]. Food Eng, 2007, (4): 31-33.
- [44] 张瑞宇. 天然清爽型黄精竹荪复合饮料的研制[J]. 饮料工业, 2003, 6(3): 18-21.
- Zhang RY. Study on processing of natural refreshing beverage from *Rhizoma polygonti* and *Dictyophora* [J]. Bev Ind, 2003, 6(3): 18-21.
- [45] 梁朔. 食用菌特色饮料的研制及其保健功能的初步研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2010.
- Liang S. Study on beverages with characteristic of fungi and a preliminary study on the health function of the beverages [D]. Fuzhou: Fujian Agric Forest Univ, 2010.
- [46] 张素霞. 竹荪大豆酸乳饮料的生产工艺研究[J]. 大豆科学, 2009, 28(4): 711-714.
- Zhang SX. Processing technology of *Dictyophora* soybean yoghurt beverage [J]. Soybean Sci, 2009, 28(4): 711-714.
- [47] 刘月英, 关中波. 竹荪巧克力冰淇淋的制作[J]. 农产品加工·学刊, 2006(5): 73-77.
- Liu YY, Guan ZB. Processing technology of *Dictyophora* chocolate ice-cream [J]. Acad Period Farm Prod Proc, 2006(5): 73-77.
- [48] 黄志鸿, 檀东飞, 黄儒珠. 棘托竹荪子实体多酚氧化酶特性及其抑制剂的研究[J]. 微生物学杂志, 2010, 30(4): 1-6.
- Huang ZH, Tan DF, Huang RZ. Feature of polyphenol oxidase from *Dictyophora echinovolvata* sporophore and its inhibitors [J]. J Microbiol, 2010, 30(4): 1-6.
- [49] 张路, 李喜宏, 李瑶瑶, 等. 竹荪低温气调防霉护色保鲜技术研究[J]. 食品科技, 2014, 39(11): 267-271.
- Zhang L, Li XH, Li YY, et al. Technology of mould-proof and color-protecting of *dictyophora* in low temperature and controlled atmosphere [J]. Food Sci Technol, 2014, 39(11): 267-271.
- [50] 黎璐, 吕昱, 汤洪敏. 长裙竹荪 3 部分石油醚提取物的对比[J]. 食品科学, 2014, 35(6): 73-77.
- Li L, Lv Y, Tang HM. Comparisons of petroleum ether extracts of three parts of *Dictyophora indusiata* [J]. Food Sci, 2014, 35(6): 73-77.
- [51] 暴增海, 张昌兆, 马桂珍. 我国竹荪的研究利用现状[J]. 河北林学院学报, 1994, 9(3): 267-271.
- Bao ZH, Zhang CZ, Ma GZ. Present situation of research and utilization of *Dictyophora* Desu in China [J]. J Hebei Forest Coll, 1994, 9(3): 267-271.

(责任编辑: 杨翠娜)

作者简介



段小明, 硕士, 主要研究方向为农产品加工及贮藏工程。
E-mail: yunssica@163.com



刘升, 教授级高工, 主要研究方向为果蔬冷链装备和技术及制冷工程。
E-mail: liusheng@nercv.org