

双孢蘑菇预煮液成分分析及其降血压效果

陈宏¹, 章骞¹, 洪水河², 吴锦清^{1,2}, 聂鑫¹, 林丽云¹, 翁凌¹, 曹敏杰¹

(1. 集美大学食品与生物工程学院, 福建 厦门 361021; 2. 福建紫山集团股份有限公司, 福建 漳州 363119)

[摘要] 以双孢蘑菇预煮液为原料, 将样品冻干后测定其蛋白质、氨基酸、糖类、呈味核苷酸二钠以及重金属含量, 并研究双孢蘑菇预煮液对原发性高血压大鼠的降血压作用。结果表明, 双孢蘑菇预煮液冻干样品中, 蛋白质质量分数为31.3%, 主要以游离氨基酸和小肽的形式存在, 分子质量小于1 000 u的成分比例达95.43%; 碳水化合物质量分数为55.5%, 主要以单糖和小分子糖类形式存在, 分子质量小于1 000 u的比例高达98.67%; 氨基酸总质量分数为11.78%, 其中, 呈味氨基酸的比例达到75.13%, 呈味核苷酸二钠的质量分数为7.84%; 重金属中, 总砷、铅、镉和总汞的质量分数分别为 $(3.3 \times 10^{-5})\%$ 、 $(3.1 \times 10^{-5})\%$ 、 $(2.3 \times 10^{-5})\%$ 和 $(1.3 \times 10^{-5})\%$ 。对原发性高血压大鼠(spontaneously hypertensive rats, SHR)灌胃双孢蘑菇预煮液冻干样品后, SHR收缩压从 (28.664 ± 2.026) kPa开始下降, 12 h后收缩压出现最低值 (21.465 ± 1.947) kPa, 然后缓慢上升, 24 h后收缩压仍维持在较低值 (25.091 ± 3.120) kPa, 表明双孢蘑菇预煮液具有一定的降血压效果。

[关键词] 双孢蘑菇; 预煮液; 成分分析; 原发性高血压大鼠; 降血压

[中图分类号] S 646

Analysis of the Components of Pre-boiled Liquid of *Agaricus bisporus* and Its Effect on Antihypertension

CHEN Hong¹, ZHANG Qian¹, HONG Shuihe², WU Jinqing^{1,2}, NIE Xin¹, LIN Liyun¹,
WENG Ling¹, CAO Minjie¹

(1. College of Food and Biological Engineering, Jimei University, Xiamen 361021, China;

2. Fujian Zishan Group Co., Ltd, Zhangzhou 363119, China)

Abstract: The pre-boiled liquid from mushroom (*Agaricus bisporus*) was used as material and the basic nutrient composition including protein, amino acids, saccharides, disodium ribonucleotide and the content of heavy metals were analyzed according to the national standards after freeze-drying. The antihypertensive effect of the lyophilized pre-boiled liquid on spontaneously hypertensive rats (SHR) was investigated. The results showed that the protein content in the lyophilized pre-boiled liquid was 31.3%, which was mainly composed of free amino acids and small peptides with relative molecular mass less than 1 000 u occupied 95.43%. The carbohydrate content was 55.5% and was mainly in the form of monosaccharides and small molecules of polysaccharides with molecular masses lower than 1 000 u reached 98.67%. The content of amino acid was 11.78%, in which the percentage of delicious amino acids was 75.13%. The content of disodium ribonucleotide was 7.84%. Analysis of heavy metals showed that the contents of total arsenic, lead, cadmium and total mercury

[收稿日期] 2017-10-25

[修回日期] 2018-01-01

[基金项目] 福建省科技计划项目(2017N5011); 国家级大学生创新创业项目(201710390001)

[作者简介] 陈宏(1993—), 男, 硕士生, 从事食品生物技术方向研究。通信作者: 曹敏杰(1964—), 男, 教授, 博士, 从事蛋白质化学及水产品深加工研究, E-mail: mjcao@jmu.edu.cn。

were $(3.3 \times 10^{-5})\%$, $(3.1 \times 10^{-5})\%$, $(2.3 \times 10^{-5})\%$ and $(1.3 \times 10^{-5})\%$, respectively. Subsequent decrease of systolic blood pressure (SBP) of the SHR was observed after administration of the freeze-dried pre-boiled liquid with initial SBP was (28.664 ± 2.026) kPa and reached the lowest (21.465 ± 1.947) kPa after 12 h. It was observed that even after intragastric administration for 24 h, the SBP of the SHR still remained at low level of (25.091 ± 3.120) kPa, suggesting that the pre-boiled liquid from *A. bisporus* have a certain effect on antihypertension.

Keywords: *Agaricus bisporus*; pre-boiled liquid; components analysis; spontaneously hypertensive rats (SHR); antihypertension

0 引言

双孢蘑菇 (*Agaricus bisporus*)，又称白蘑菇、洋蘑菇，属草腐菌，味道鲜美，营养丰富，是世界上栽培最广泛、总产量最高并且消费量最大的食用菌，有“世界菇”之称^[1]。2000 年前后，我国年产量约 40 万 t^[2]。此后，随着生产技术的不断进步以及国内外消费需求的持续增加，双孢蘑菇的栽培产量不断增长，到 2015 年，年产量已达 337.96 万 t^[3]。双孢蘑菇不仅富含蛋白质、氨基酸、维生素、矿物质和碳水化合物等多种营养物质，而且还富含多糖、多肽、生物碱、三萜等成分，具有一定的药用和保健价值^[4]。

在双孢蘑菇加工过程中，为钝化引起褐变的多酚氧化酶，必须对软化组织进行预煮处理^[5]。双孢蘑菇在预煮过程中，部分水溶性成分溶出至蒸煮液。目前，大部分双孢蘑菇生产加工企业产生的大量蒸煮液被直接弃去，这不仅造成资源浪费，还增加了环境保护的压力。近年，部分企业尝试将蒸煮液用于酱油生产以丰富酱油的风味，或将其经过浓缩制作蘑菇味调味汁^[6]、蘑菇醋或蘑菇蛋白饮料^[7]等。

尽管国内企业对双孢蘑菇蒸煮液的资源利用技术在不断改进，但是对于其组成成分的分析的报道相对较少。早期的研究多集中在氨基酸类物质的提取分析^[8-9]。近年来，段秀辉等^[10]比较研究了 3 种食用菌预煮液的主要成分。刘璐等^[11]分析了杏鲍菇预煮液的挥发性成分。目前，对食用菌的研究多集中在抗氧化、改善心脑血管疾病、降血糖等活性，如蒋益等^[12]从发酵菌渣中提取到含有抗氧化活性的多肽；Zhang 等^[13]的研究表明，双孢蘑菇多糖对宫颈癌细胞的增殖具有抑制作用，并且具有免疫调节能力；毛勇^[14]通过小鼠体外实验表明，双孢蘑菇多糖能够抑制葡萄糖苷酶的活性，调节血糖水平，同时能够改善糖尿病小鼠消瘦和毛色暗淡等症状。

高血压是最常见的慢性病，它可导致多种心血管疾病的发生，严重威胁着人类的健康。目前，治疗高血压的药物主要有卡托普利、赖诺普利和依那普利等。这些药物虽然效果显著，但是长期服用会引起皮疹、尿蛋白等不良反应^[15-16]，亟需改善对高血压的预防和治疗。当前，食用菌预煮液成分是否有降血压功效，国内外还未有相关研究报道。因此，本研究拟对双孢蘑菇预煮液中基本营养成分、呈味物质成分、糖类分子质量、重金属含量等指标进行分析，并利用原发性高血压大鼠 (spontaneously hypertensive rats, SHR) 对双孢蘑菇预煮液进行降血压功效评价，以期天然功能性食品的开发提供新思路。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

双孢蘑菇预煮液由福建紫山集团股份有限公司提供；雄性 SHR 购自上海斯莱克实验动物有限责任公司。

Milli-Q 超纯水 (美国 Millipore 公司)；盐酸，硝酸，硫酸，草酸，乙酸，甲醛，硫脲，高氯酸，氢氧化钾，氢氧化钠，硼氢化钾，硼氢化钠，抗坏血酸，铁氰化钾，硝酸镁，氧化镁，乙酸钠，柠檬酸钠，均购于国药集团，分析纯；三氧化二砷，硝酸铅，氯化汞，金属镉标准品，均购于国家标准物

质中心, *D*-葡萄糖纯度标准品 (美国 Sigma 公司); 混合氨基酸标准品 (美国 Sigma 公司)。

1.2 仪器与设备

高效液相色谱仪 (美国 Agilent Technologies 公司); 高速离心机 (美国 Beckman 公司); 恒温水浴锅 (德国 Memmert 公司); 电子天平 (中国精科天平); 冷冻干燥机 (德国 Christ 公司); 紫外分光光度计 (美国 Perkin Elmer 公司); 大鼠血压测定仪 (Softron BP-2010A, 日本 Softron 公司); 氨基酸分析仪 (英国 Biochrom 公司); 原子荧光光谱仪 (日本日立公司)。

1.3 实验方法

1.3.1 样品制备

新鲜双孢蘑菇在料水比 (m/V) 为 1:1, 加热温度为 $(98 \pm 1)^\circ\text{C}$, 加热时间为 8~10 min, 柠檬酸添加量为 1‰ 下获得预煮液。预煮液经减压浓缩到固形物质量分数为 80% 后, 放入 -80°C 冰箱冷冻 24 h, 样品完全冻结后取出, 放置于冷冻干燥机内 (63 Pa, -50°C), 直至干燥完成, 收集冷冻干燥后的样品, 经粉碎混匀后置于密闭干燥的容器中备用。

1.3.2 营养成分分析

蛋白质含量, 按照 GB 5009.5—2016 测定; 脂肪含量, 按照 GB 5009.6—2016 测定; 钠含量, 按照 GB/T 5009.91—2003 测定; 能量和碳水化合物, 按照 GB/Z 21922—2008 公式法计算。

1.3.3 糖类和蛋白质分子质量分布分析

多糖分子质量, 采用高效体积排阻色谱法 (high performance size exclusion chromatography, HPSEC)^[17] 测定; 蛋白质分子质量, 按照 GB/T 22729—2008 测定。

1.3.4 氨基酸总量和呈味核苷酸二钠含量分析

氨基酸含量, 按照 GB 5009.124—2016 测定; 呈味核苷酸二钠含量, 按照 GB 1886.171—2016 测定。

1.3.5 重金属含量分析

总砷含量, 按照 GB 5009.11—2014 测定; 铅含量, 按照 GB 5009.12—2010 测定; 镉含量, 按照 GB 5009.15—2014 测定; 总汞含量, 按照 GB 5009.17—2014 测定。

1.3.6 原发性高血压大鼠的降血压作用分析

SHR 选用 9~11 周龄, 质量 (380 ± 20) g, 尾部收缩压超过 23.998 kPa 的雄性大鼠。SHR 饲养于 24°C 恒温、12 h 光照、12 h 黑暗的房间, 食物与水自由采食, 适应性饲养 1 周。大鼠分为 3 组, 每组 4 只, 以蒸馏水作为空白对照, 以卡托普利作为阳性对照, 灌胃剂量为 10 mg/kg, 以双孢蘑菇预煮液冻干样品作为实验组, 灌胃剂量为 100 mg/kg。样品通过口服灌胃的方式进行一次性灌胃, 每只大鼠灌胃一次, 用大鼠血压测定仪测定灌胃 0, 4, 8, 12, 24 h 后大鼠的收缩压, 每只大鼠测定 3 次。

2 结果与讨论

2.1 基本营养成分分析

经分析, 每 100 g 双孢蘑菇预煮液冻干样品中, 能量为 1 476 kJ, 钠含量为 715 mg, 不含有脂肪, 蛋白质和碳水化合物含量丰富, 分别达到了 31.3% 和 55.5%。其中, 碳水化合物有单糖、低聚糖和多糖等多种存在形式, 而多糖具有增强免疫力等多种药理学功效。

2.2 糖类分子质量分布

由图 1 和表 1 可知, 双孢蘑菇预煮液中以分子质量小于 1 000 u 的糖类为主, 占总峰面积的 98.67%, 其中, 单糖所占比例为 58.93%。Tsai 等^[18] 的研究表明, 在双孢蘑菇不同的成熟阶段, 甘露醇是其中最主要的可溶性糖, 因而, 预煮液中的单糖主要为分子质量较小的甘露醇。双孢蘑菇预煮液中含有较高的小分子糖类, 在普通的干燥加工过程中易吸潮结块, 与氨基酸发生美拉德反应导致产品色泽呈深褐色^[19]。因此, 在利用双孢蘑菇预煮液进行加工时, 应注意采取相应的措施避免吸潮现象, 并通过降低温度, 减缓美拉德反应。

2.3 肽分子质量分布

由图 2 和表 2 可知，双孢蘑菇预煮液中分子质量大于 2 000 u 的肽仅占总含量的 2.68%，大于 500 u 的（占 7.38%），而分子质量小于 500 u 的小肽和游离氨基酸的质量分数高达 92.62%，双孢蘑菇经预煮后，氨基酸和分子质量小的短肽更容易溶解于预煮液中。一般认为，寡肽或小分子肽由 2 ~ 10 个氨基酸组成，10 ~ 50 个氨基酸组成的肽为多肽。预煮液中，氨基酸质量分数占比达 77.78%，而分子质量在 180 ~ 2 000 u 的肽段含量所占比例仅为 19.54%。尽管小肽在双孢蘑菇预煮液中的含量较少，由于其具有多种生理功能，在今后的工作中有必要对功能活性肽做深入研究。

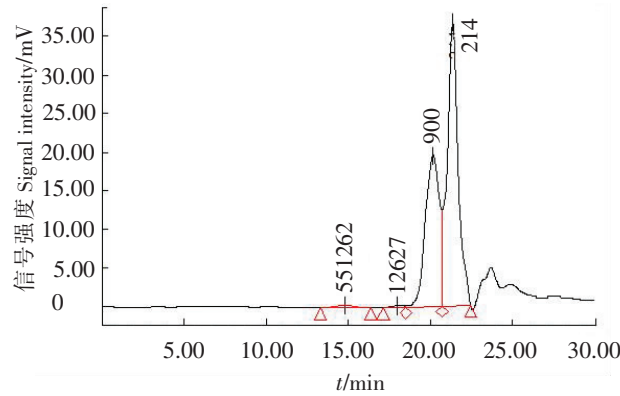


图 1 糖类分子质量分布色谱图
Fig.1 Chromatogram of molecular weight distribution of carbohydrates

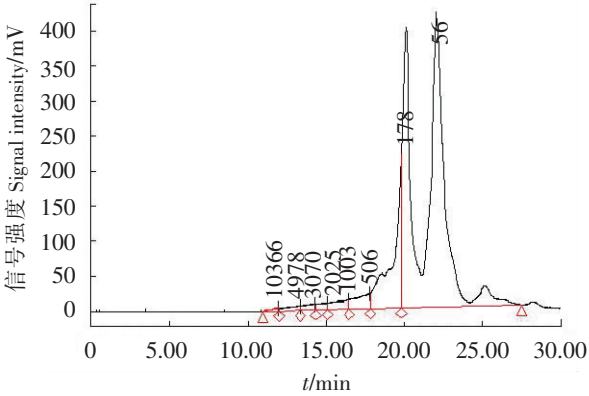


图 2 肽分子质量分布色谱图
Fig.2 Molecular weight distribution chromatogram of peptides

表 1 糖类分子质量分布

Tab.1 Relative molecular weight distribution of carbohydrates

保留时间 Retention time /min	数均分子质量 M_n Number average molecular mass	重均分子质量 M_w Weight average molecular mass	M_w/M_n	峰位分子质量 M_p Peak molecular mass	峰面积 Peak area	峰面积比例 Peak area percentage/%
14.833	511 052	631 820	1.24	551 262	26 255	0.89
17.967	12 266	13 984	1.14	12 627	13 135	0.44
20.158	904	1 117	1.24	900	1 174 260	39.74
21.351	190	226	1.19	214	1 741 475	58.93

表 2 肽分子质量分布

Tab.2 Relative molecular weight distribution of peptides

分子质量 Molecular mass/u	保留时间 Retention time /min	数均分子质量 M_n Number average molecular mass	重均分子质量 M_w Weight average molecular mass	M_w/M_n	峰位分子质量 M_p Peak molecular mass	峰面积 Peak area	峰面积比例 Peak area percentage/%
> 10 000	11.936	11 722	11 903	1.02	10 366	113 218	0.22
10 000 ~ 5 000	13.357	6 621	6 885	1.04	4 978	374 343	0.74
5 000 ~ 3 000	14.293	3 777	3 858	1.02	3 070	452 792	0.89
3 000 ~ 2 000	15.099	2 433	2 465	1.01	2 025	419 910	0.83
2 000 ~ 1 000	16.460	1 370	1 428	1.04	1 003	963 530	1.89
1 000 ~ 500	17.784	675	703	1.04	506	1 431 824	2.81
500 ~ 180	19.803	246	268	1.09	178	7 547 510	14.84
< 180	22.036	—	—	—	56	39 561 054	77.78

2.4 氨基酸组成和呈味核苷酸二钠含量

双孢蘑菇预煮液冻干样品用盐酸完全水解后，检测其氨基酸含量，结果如表3所示。双孢蘑菇预煮液含有16种氨基酸，总质量分数为11.78%。其中，必需氨基酸有7种，但必需氨基酸与总氨基酸含量的比值仅为11.04%，与双孢蘑菇子实体中必需氨基酸含量相差较大^[4]，说明其不适合开发成蛋白质食品。但双孢蘑菇预煮液冻干样品中呈鲜味的谷氨酸和天冬氨酸的质量分数为7.5%，呈甜味氨基酸的质量分数为1.35%，呈味氨基酸占总量的比例达到75.13%。呈味核苷酸二钠的质量分数达到7.84%。参照相关标准^[20]，当样品中氨基酸态氮质量分数高于3.0%，呈味核苷酸二钠质量分数高于1.6%时，具有增鲜的效果。双孢蘑菇预煮液冻干样品的氨基酸态氮质量分数为11.78%，呈味核苷酸二钠的质量分数为7.84%，产品呈味特别鲜美。

有研究指出，支链氨基酸是具有预防肝病、提高免疫力等特殊生理功能的必需氨基酸^[21]。双孢蘑菇预煮液冻干样品中，缬氨酸、亮氨酸和异亮氨酸等支链氨基酸质量分数为0.54%。尽管样品中支链氨基酸的含量较低，但其是否具有相关功能值得后续研究。

表3 双孢蘑菇预煮液中氨基酸含量分析
Tab.3 Analysis of amino acid composition in the pre-boiled liquid of *A. bisporus*

氨基酸 AA	质量分数 Mass fraction/%	氨基酸 AA	质量分数 Mass fraction/%
天冬氨酸 ^b (Asp)	1.53	异亮氨酸 ^{ad} (Ile)	0.14
苏氨酸 ^{ac} (Thr)	0.24	亮氨酸 ^{ad} (Leu)	0.18
丝氨酸 ^c (Ser)	0.38	酪氨酸 (Tyr)	0.16
谷氨酸 ^b (Glu)	5.97	苯丙氨酸 ^a (Phe)	0.14
甘氨酸 ^c (Gly)	0.35	赖氨酸 ^a (Lys)	0.20
丙氨酸 ^c (Ala)	0.62	组氨酸 (His)	0.09
缬氨酸 ^{ad} (Val)	0.22	精氨酸 (Arg)	0.38
蛋氨酸 ^a (Met)	0.18	脯氨酸 (Pro)	1.00
氨基酸总量 Total amino acid	11.78	鲜味氨基酸总量 Total tasty amino acid	7.50
必需氨基酸总量 Total essential amino acid	1.30	甜味氨基酸总量 Total sweet amino acid	1.35
非必需氨基酸总量 Total non-essential amino acid	10.48	支链氨基酸总量 Total branched chain amino acid	0.54

说明：a—必需氨基酸；b—鲜味氨基酸；c—甜味氨基酸；d—支链氨基酸
Notes：a—essential amino acid；b—tasty amino acid；c—sweet amino acid；d—branched chain amino acid

2.5 重金属含量分析

近年来，重金属对食品污染引起的产品质量安全问题受到广泛的关注。研究表明，在双孢蘑菇栽培过程中，菌丝对重金属元素具有一定的富集作用。李远东等^[22]对我国栽培食用菌的重金属进行调查，发现其中部分双孢蘑菇子实体中的总汞质量分数达到了(5×10⁻⁵)%，是国家标准的5倍^[23]。为了了解双孢蘑菇预煮液是否存在重金属超标问题，将双孢蘑菇预煮液冻干后分析其铅、镉、总汞、总砷的含量，结果如表4所示。

表4 双孢蘑菇预煮液重金属含量分析
Tab.4 Analysis of heavy metal contents in the pre-boiled liquid of *A. bisporus*

检测项目	质量分数 Mass fraction/%	
	预煮液冻干样品 Pre-boiled lyophilized sample	国家标准 Chinese standard
As	3.3 × 10 ⁻⁵	5 × 10 ⁻⁵
Pb	3.1 × 10 ⁻⁵	1 × 10 ⁻⁴
Cd	2.3 × 10 ⁻⁵	5 × 10 ⁻⁵
Hg	1.3 × 10 ⁻⁵	1 × 10 ⁻⁵

由表 4 可见，样品中总砷、铅和镉的质量分数分别为 $(3.3 \times 10^{-5})\%$ 、 $(3.1 \times 10^{-5})\%$ 和 $(2.3 \times 10^{-5})\%$ ，均低于国家标准的限量要求，但总汞质量分数为 $(1.3 \times 10^{-5})\%$ ，略高于国家标准 $(1 \times 10^{-5})\%$ 的限量要求。故在利用双孢蘑菇预煮液时，需要注意重金属超标的问题。今后，有必要利用重金属吸附技术，有效降低产品中的重金属，特别是总汞的含量。

2.6 双孢蘑菇预煮液对 SHR 的降血压作用

将双孢蘑菇预煮液灌胃 SHR，实验结果如图 3 所示。空白对照组、阳性对照组、实验组的 SHR 在灌胃前（0 h）的收缩压分别为 $(30.731.5 \pm 0.653)$ ， (30.931 ± 0.240) ， (28.691 ± 2.026) kPa。灌胃 4, 8, 12 和 24 h 后，空白对照组的 SHR 收缩压基本维持不变；阳性对照组在灌胃 4 h 后即达到最低值 (20.505 ± 1.267) kPa，实验组 SHR 收缩压的变化呈先下降后缓慢升高的趋势，收缩压最低值出现在灌胃 12 h 后，最低值为 (21.465 ± 1.947) kPa，灌胃 24 h 后，收缩压还维持在 (25.091 ± 3.120) kPa。

研究表明，多糖活性与多糖分子质量分布有很大的关联性，如分子质量过大，多糖分子难以通过细胞膜进入细胞发挥活性作用，但糖的分子质量过低，则无法形成具有活性的聚合结构^[24]。此外，具有降血压活性的多肽，一般由 2~10 个氨基酸组成，分子质量较低^[25]。本研究结果显示，在双孢蘑菇预煮液中，分子质量为 214~900 u 的多糖占总糖含量的 39.74%，分子质量为 180~2 000 u 的小肽占总蛋白质含量的 19.54%，故推测具有降血压活性的成分可能为双孢蘑菇预煮液中的多糖或小肽。

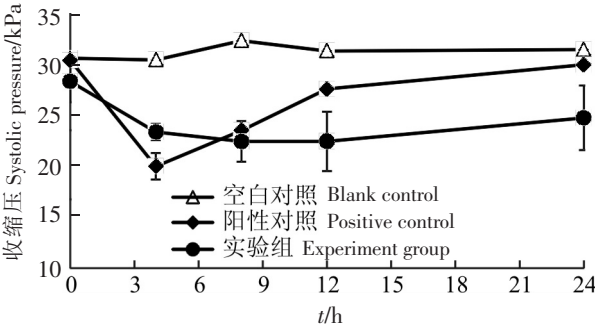


图 3 SHR 收缩压随时间的变化
Fig.3 The change of SBP with time in SHR

3 结论

双孢蘑菇预煮液中含有丰富的碳水化合物、氨基酸和呈味核苷酸二钠等有效成分，除总汞外，重金属含量较低。预煮液中碳水化合物主要是以单糖和小分子质量多糖的形式存在，蛋白质主要是以游离氨基酸和低分子质量小肽的形式存在。大鼠的降血压效果与双孢蘑菇预煮液中的多糖和低分子质量小肽有关。本研究为双孢蘑菇预煮液的综合开发利用提供了理论参考。

[参 考 文 献]

[1] 林建海. 漳州市双孢蘑菇产业化发展策略研究 [D]. 福州: 福建农林大学, 2012.

[2] 许广波, 傅伟杰, 魏铁铮, 等. 双孢蘑菇的栽培现状及其研究进展 [J]. 延边大学农学学报, 2001, 23(1): 69-72.

[3] 中国食用菌协会. 关于印发全国食用菌 2015 年产量、产值和出口统计调查结果的通知 [EB/OL]. (2016-10-28)[2017-10-01]. <http://www.cefa.org.cn/2016/10/28/9924.html>.

[4] 吴素玲, 孙晓明, 王波, 等. 双孢蘑菇子实体营养成分分析 [J]. 中国野生植物资源, 2006, 25(2): 47-48.

[5] 吴远远, 孟哲, 刘红云, 等. 蔬菜漂烫过程对营养性成分保持的影响 [J]. 理化检验: 化学分册, 2008, 44(4): 366-368.

[6] 郭云霞, 秦俊哲, 陈均志, 等. 酶法研制蘑菇调味汁工艺的研究 [J]. 陕西科技大学学报, 2011, 29(1): 54-57.

[7] 薛淑静, 李露, 杨德, 等. 响应面优化双孢菇预煮液酶解工艺研究 [J]. 湖北农业科学, 2016, 55(22): 5926-
<http://xuebaobangong.jmu.edu.cn/zkb>

5930.

- [8] 王纯和, 马怀芬. 从蘑菇预煮水中提取复合氨基酸 [J]. 氨基酸和生物资源, 1982(4): 12-14.
- [9] 刘培生, 甘景镛. 蘑菇预煮水中混合氨基酸的提取和测定 [J]. 食品与发酵工业, 1987(2): 60-64.
- [10] 段秀辉, 李露, 薛淑静, 等. 三种食用菌预煮液的主要营养成分分析 [J]. 湖北农业科学, 2015, 54(19): 4801-4804.
- [11] 刘璐, 乔宇, 廖李, 等. 杏鲍菇及其预煮液挥发性成分分析 [J]. 湖北农业科学, 2015, 54(22): 5726-5728.
- [12] 蒋益, 王红连, 何静霞, 等. 菌渣蛋白肽的制备及其抗氧化肽的分离鉴定 [J]. 食用菌, 2016, 38(2): 74-79.
- [13] ZHANG Y, MA G, FANG L, et al. The immunostimulatory and anti-tumor activities of polysaccharide from *Agaricus bisporus* (brown) [J]. Journal of Food & Nutrition Research, 2014, 2(3): 122-126.
- [14] 毛勇. 深层发酵双孢菇胞外多糖的研究 [D]. 无锡: 江南大学, 2013.
- [15] LEE J K, JEON J K, BYUN H G. Antihypertensive effect of novel angiotensin I converting enzyme inhibitory peptide from chum salmon (*Oncorhynchus keta*) skin in spontaneously hypertensive rats [J]. Journal of Functional Foods, 2014, 7: 381-389. DOI:10.1016/j.jff.2014.01.021.
- [16] NGO D H, KANG K H, RYU B M, et al. Angiotensin-I converting enzyme inhibitory peptides from antihypertensive skate (*Okamejei kenoei*) skin gelatin hydrolysate in spontaneously hypertensive rats [J]. Food Chemistry, 2015, 174: 37-43. DOI:10.1016/j.foodchem.2014.11.013.
- [17] 戴军, 陈尚卫, 朱松, 等. 不同来源灵芝孢子粉的多糖分子量分布分析与比较 [J]. 食品与机械, 2010, 26(1): 12-14. DOI:10.13652/j.issn.1003-5788.2010.01.044.
- [18] TSAI S Y, WU T P, HUANG S J, et al. Nonvolatile taste components of *Agaricus bisporus* harvested at different stages of maturity [J]. Food Chemistry, 2007, 103(4): 1457-1464. DOI:10.1016/j.foodchem.2006.10.073.
- [19] 索晓敏, 李波, 聂磊, 等. 鸡腿菇子实体菌柄和菌盖营养成分的分析 [J]. 食用菌, 2009, 31(5): 74-75.
- [20] 中华人民共和国商务部. 菇精调味料: SB/T 10484—2008 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [21] 张倩, 张霞. 支链氨基酸在肝硬化治疗中的作用研究进展 [J]. 现代医药卫生, 2016, 32(6): 850-852.
- [22] 李远东, 陈强, 张金霞, 等. 我国栽培食用菌的重金属调查 [J]. 中国食用菌, 2009, 28(4): 32-34.
- [23] 中华人民共和国卫生和计划生育委员会. 食用菌及其制品: GB 7096—2014 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2014.
- [24] 李越鲲, 周旋, 刘兰英, 等. 不同分子量枸杞多糖体外抗氧化活性研究 [J]. 安徽农业科学, 2012, 40(29): 14174-14175.
- [25] 苏海玲, 韩涛. 多肽生物活性与其结构的关系 [J]. 中国食物与营养, 2012, 18(6): 21-25.

(责任编辑 马建华 英文审校 刘静雯)