

多汁乳菇多糖的分离纯化及三种食用菌多糖的抗氧化研究

丁慧敏, 朱亚男, 王秋艳, 黄馨阅, 陶明煊

(南京师范大学食品与制药工程学院, 江苏 南京 210023)

[摘要] 以多汁乳菇子实体为原料, 采用水提醇沉辅助超声破碎提取多糖, 经 Sevage 除蛋白得到多汁乳菇多糖, 并通过体外实验比较多汁乳菇多糖(refined polysaccharide from *Lactarius volemus* Fr., RPLV)、白玉菇多糖(refined polysaccharide from *White Hypsizigus marmoreus*, RPHM)、姬菇多糖(refined polysaccharide from *Pleurotus cornucopiae*, RPPC)对 $\cdot\text{OH}$ 、 $\cdot\text{O}_2^-$ 、DPPH 自由基的清除率及还原力来评价三者的抗氧化活性。结果显示, RPLV 的糖含量为 66.44%, 蛋白质含量为 3.57%; RPLV、RPHM、RPPC 均可较好地清除 $\cdot\text{OH}$ 、 $\cdot\text{O}_2^-$ 、DPPH 自由基、增强还原力, 且均随着浓度的增加而增强; 抗氧化活性从强到弱依次是 RPPC、RPHM、RPLV。研究结果表明, 3 种食用菌多糖尤其是 RPPC 均有望开发成良好的天然抗氧化剂。

[关键词] 多汁乳菇多糖, 白玉菇多糖, 姬菇多糖, 分离纯化, 抗氧化

[中图分类号] TS201.4 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1672-1292(2021)02-0072-06

Isolation and Purification of Polysaccharide from *Lactarius Volemus* Fr. and Antioxidant Activities of Polysaccharide from Three Edible Mushrooms

Ding Huimin, Zhu Yanan, Wang Qiuyan, Huang Xinyue, Tao Mingxuan

(School of Food Science and Pharmaceutical Engineering, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China)

Abstract: In this paper, the crude polysaccharide is obtained from *Lactarius volemus* Fr. by the hot water extraction assisted by ultrasonic disruption, alcohol precipitation and Sevage deproteinization method. The antioxidant activity of polysaccharide from *Lactarius volemus* Fr. (RPLV), polysaccharide from *White Hypsizigus marmoreus* (RPHM) and polysaccharide from *Pleurotus cornucopiae* (RPPC) against hydroxyl radical ($\cdot\text{OH}$), superoxide anion radical ($\cdot\text{O}_2^-$), DPPH radical and reducing power is evaluated by comparison in vitro experiments. The results show that the sugar content and protein content of RPLV are 66.44% and 3.57%; RPLV, RPHM, and RPPC can scavenge $\cdot\text{OH}$, $\cdot\text{O}_2^-$, DPPH radicals, enhance reducing power, and with the increase of concentration, the antioxidant activity from strong to weak is RPPC, RPHM, RPLV. The results show that the three polysaccharides from edible mushrooms especially RPPC are expected to develop good natural antioxidants.

Key words: polysaccharide from *Lactarius volemus* Fr., polysaccharide from *White Hypsizigus marmoreus*, polysaccharide from *Pleurotus cornucopiae*, separation and purification, antioxidant

人体内的自由基主要包括羟基自由基、氢过氧化物、超氧阴离子等活性氧自由基^[1], 这些自由基的氧化性极强, 一旦过量就会攻击核酸、蛋白质等生物大分子, 发生超氧化反应, 破坏人体正常生长发育, 加快衰老速度, 诱发各种疾病。

多糖是一类由糖苷键连接而成的生物大分子, 是食用菌中的主要活性物质, 在保健品和医疗上有着广泛应用^[2-4]。目前, 国内外已有许多研究证实了食用菌多糖具有抗氧化、抑制肿瘤、提高免疫等性能, 在一些疾病的预防与治疗上表现出积极的效果^[5-6]。

收稿日期: 2020-10-10.

基金项目: 宁波市公益类科技计划项目(2019C10096)。

通讯作者: 陶明煊, 副教授, 研究方向: 生物活性物质与保健功能因子。E-mail: 45017@njnu.edu.cn

多汁乳菇(*Lactarius volemus* Fr.)又称奶浆菌、奶汁菇等^[7],属伞菌目、红菇科、乳菇属,富含人体所需的氨基酸如赖氨酸、苏氨酸等,是一种营养保健性能兼佳的食用真菌。

目前有关多汁乳菇、白玉菇及姬菇这3种食用菌多糖在抗氧化活性方面的比较尚未见报道。本文拟从多汁乳菇子实体中提取多糖并对其纯化,与实验室前期制备的白玉菇多糖和姬菇多糖在清除 $\cdot\text{OH}$ 、 $\cdot\text{O}_2^-$ 、DPPH自由基和还原力方面进行抗氧化活性的比较,为食用菌多糖在保健开发方面提供新思路。

1 材料与方法

1.1 材料、试剂与仪器

材料:多汁乳菇采购于麽麽特产店;白玉菇多糖(RPHM)、姬菇多糖(RPPC)由实验室前期制得。

试剂:水杨酸、无水乙醇、邻苯三酚、三羟甲基氨基甲烷(Tris)、 FeSO_4 、铁氰化钾、维生素C均为国产分析纯,购买于上海凌峰化学试剂有限公司。

仪器:MCFD5005冷冻真空干燥机,上海优浦科学仪器有限公司;754紫外可见分光光度计,上海光谱仪器有限公司;GL-22M高速冷冻离心机,上海赵迪生物科技有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 多汁乳菇子实体多糖的提取

将多汁乳菇子实体粉碎过筛,保存于干燥器中。准确称取干粉25 g,按料液比1:20加入蒸馏水超声破碎后进行热水浸提,6 000 g离心15 min,合并上清液,浓缩至一定体积后加入其体积4倍量的95%乙醇进行醇沉,于4℃静置12 h后,离心取沉淀,60℃恒温烘干得多汁乳菇粗多糖(CPLV)^[8-9]。

1.2.2 多汁乳菇子实体多糖的纯化

根据文献[10]中除蛋白方法略作修改,取10%多汁乳菇粗多糖溶液,按体积比5:1加入Sevage(氯仿:正丁醇=4:1)试剂,摇床振荡30 min,6 000 g离心15 min,取上层多糖溶液重复多次直至无明显蛋白层,旋蒸除去有机试剂,透析浓缩冻干,得多汁乳菇多糖(RPLV)。

1.2.3 RPLV、RPHM、RPPC化学组分的测定

(1) 总糖含量的测定

采用苯酚-硫酸显色法^[11],分别移取0.05 mg/mL葡萄糖标准液0、0.1、0.2、0.3、0.4、0.5、0.6、0.7、0.8、0.9、1.0 mL于试管中,补加蒸馏水至1.0 mL,加入5%苯酚溶液0.5 mL,再加入2.5 mL浓硫酸,静置30 min,取出,以第一管作空白对照,测定490 nm处的吸光度。

(2) 总酚含量的测定

采用福林酚试剂还原比色法^[12],分别移取0.1 mg/mL的没食子酸标准溶液0、0.1、0.2、0.3、0.4、0.5、0.6、0.7、0.8、0.9 mL于25 mL棕色容量瓶中,补加蒸馏水至6 mL,加入0.5 mL福林酚试剂、1 mL饱和 Na_2CO_3 溶液,用蒸馏水定容至25 mL,于室温下避光反应30 min,测定760 nm处的吸光度。

(3) 总黄酮含量的测定

采用 NaNO_2 - $\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ -NaOH比色法^[13],分别准确移取0.1 mg/mL芦丁标准溶液0、0.5、1.0、1.5、2.0、2.5、3.0、3.5 mL于试管中,补加60%乙醇溶液至5 mL,加入5% NaNO_2 溶液0.3 mL,混匀后静置6 min,再加入10%硝酸铝溶液0.5 mL,静置6 min,加入1 mol/L NaOH溶液4 mL,混匀后室温反应15 min,以第一管为空白对照,测定510 nm处的吸光度。

(4) 硫酸基含量测定

采用氯化钡-明胶比色法^[14],分别移取0.2 mg/mL K_2SO_4 标准溶液0、0.2、0.4、0.6、0.8、1.0 mL于试管中,补加蒸馏水至1 mL,加入0.8%三氯乙酸溶液0.7 mL和0.5% BaCl_2 -明胶溶液0.5 mL,静置15 min后测定360 nm处的吸光度。

(5) 糖醛酸含量测定

采用硫酸-呋唑比色法^[15],分别准确移取0.1 mg/mL葡萄糖醛酸标准溶液0、0.1、0.2、0.3、0.4、0.5、0.6 mL于具塞试管中,补加超纯水至1 mL,在冰浴条件下加入四硼酸钠-硫酸溶液5 mL,100℃水浴10 min,在冰水浴条件下加入呋唑-乙醇溶液0.2 mL,摇匀后沸水浴15 min,冷却至室温后,测定523 nm处的吸光度。

(6) 蛋白质含量测定

采用考马斯亮蓝法^[16],分别移取 1 mg/mL BSA 溶液 0、10、20、40、60、80、100 μL 于试管中,补加蒸馏水至 100 μL ,充分混合,加入 5 mL 考马斯亮蓝 G-250 试剂,混合均匀,静置 20 min 后测定 595 nm 处的吸光度。

1.2.4 RPLV、RPHM、RPPC 体外抗氧化活性测定

(1) 清除羟基自由基($\cdot\text{OH}$)活性的测定

H_2O_2 和 Fe^{2+} 混合会发生 Fenton 反应^[17],生成 $\cdot\text{OH}$ 。 $\cdot\text{OH}$ 被水杨酸捕获生成的有色物质在 510 nm 处有特征吸收峰。本实验在水杨酸法^[18]的基础上进行了改进,分别移取 1 mL 不同浓度的多糖溶液,各加入 1 mL 的 9 mmol/L FeSO_4 、9 mmol/L 水杨酸-乙醇、8.8 mmol/L H_2O_2 ,于 37 $^\circ\text{C}$ 反应 30 min,以蒸馏水作为空白对照。多糖的本底吸光度以 1 mL 蒸馏水代替 H_2O_2 进行测定,以相同浓度的维生素 C 作为阳性对照,测量 510 nm 处的吸光度。

$$\text{清除率}(\%) = [A_0 - (A_x - A_{x_0})] / A_0 \times 100\%, \quad (1)$$

式中, A_0 为空白对照的吸光度; A_x 为加入多糖溶液后的吸光度; A_{x_0} 为多糖溶液的本底吸光度。

(2) 清除超氧阴离子自由基($\cdot\text{O}_2^-$)活性的测定

采用邻苯三酚自氧化法^[19],此反应在 25 $^\circ\text{C}$ 水浴下进行,分别移取 1 mL 不同浓度的多糖溶液,加入 0.05 mol/L Tris-HCl 缓冲液 4 mL,再加入 25 mmol/L 邻苯三酚溶液 0.5 mL,摇匀,静置 5 min,最后以 0.1 mL 8% 盐酸溶液来终止反应,在 325 nm 处测定吸光度。多糖的本底吸收值用蒸馏水代替邻苯三酚,空白对照用蒸馏水代替多糖溶液,阳性对照用相同浓度的维生素 C 进行测定。超氧阴离子自由基的清除率按式(1)进行计算。

(3) 清除 DPPH 自由基活性的测定

DPPH 溶于乙醇后呈深紫色,于 517 nm 出现最强吸收峰^[20]。当 DPPH 被清除时,由于 DPPH 醇溶液中单电子的含氮自由基被清除自由基的物质配对^[12-13],会出现一个明显的颜色特征即溶液颜色变浅。本文按于海洋^[21]的方法稍作修改后进行测定,测定管中加入 2 mL 不同浓度的样品溶液、0.2 mmol/L DPPH 溶液,混匀,避光静置 30 min 后测量 517 nm 处下各浓度的吸光度。以相同浓度的维生素 C 作为阳性对照,以蒸馏水为空白对照,以多糖溶液与 95% 乙醇为本底吸光度,DPPH 自由基的清除率按式(1)计算。

(4) 还原力的测定

多糖的抗氧化能力可通过 Fe^{3+} 被还原的数量来测定^[22],分别移取 2.5 mL 不同浓度的样品溶液、0.2 mol/L pH6.6 磷酸缓冲溶液和 1% 铁氰化钾溶液,摇匀,于 50 $^\circ\text{C}$ 水浴 20 min,冷却至室温,加入 2.5 mL 10% 三氯乙酸溶液,离心取上清液 2.5 mL,加入 2.5 mL 蒸馏水和 0.5 mL 0.1% 三氯化铁溶液,10 min 后测定 700 nm 处的吸光度。空白对照组以蒸馏水进行测定,阳性对照组以相同浓度的维生素 C 进行测定。

1.3 数据统计分析

重复 3 次实验,利用 DPS13.50 统计软件分析实验数据。

2 结果与分析

2.1 RPLV 的提取得率

多汁乳菇子实体经 3 次超声破碎辅助热水浸提后,获得多汁乳菇粗多糖(CPLV),得率为 6.17%。多汁乳菇粗多糖经 Sevage 法脱蛋白后得多汁乳菇多糖(RPLV),得率为 3.21%。

2.2 RPLV、RPHM、RPPC 的化学组分

RPLV、RPHM、RPPC 的化学组分如表 1 所示。

表 1 RPLV、RPHM、RPPC 的化学组分

Table 1 Chemical composition of various polysaccharides from RPLV, RPHM, RPPC

多糖样品	总糖/%	总酚/%	总黄酮/%	硫酸基/%	糖醛酸/%	蛋白质/%
CPLV	36.63 \pm 0.31	0.52 \pm 0.33	0.85 \pm 0.15	0.58 \pm 0.08	1.39 \pm 0.21	58.85 \pm 0.12
RPLV	66.44 \pm 0.14	—	—	2.57 \pm 0.28	4.16 \pm 0.13	3.57 \pm 0.11
RPHM	89.44 \pm 0.04	—	—	1.12 \pm 0.04	2.32 \pm 0.23	3.54 \pm 0.03
RPPC	72.34 \pm 2.65	—	—	1.21 \pm 0.20	8.57 \pm 1.63	3.68 \pm 0.23

注:“—”代表低于检测限。

2.3 RPLV、RPHM、RPPC 的体外抗氧化活性

2.3.1 清除羟基自由基($\cdot\text{OH}$)能力

由图 1 可知,在 0~10 mg/mL 之间,RPLV、RPHM、RPPC 清除羟基自由基的能力与其质量浓度呈现依赖性.在 2 mg/mL 以下,RPLV、RPHM、RPPC 清除羟基自由基的能力相差不大,都远低于维生素 C;当浓度在 2~10 mg/mL 时,RPLV、RPHM、RPPC 对羟基自由基的清除率的差异比较明显,以 RPPC 的清除效果更好;当浓度为 10 mg/mL 时,RPLV、RPHM、RPPC 对羟基自由基的清除率分别达到 77.6%、78.9%和 86.9%,RPLV 与 RPHM 之间无显著性关系($P>0.05$),RPLV 与 RPPC 差异极显著($P<0.01$),RPHM 与 RPPC 之间差异显著($P<0.05$).由此可见,RPLV、RPHM、RPPC 3 种多糖均可较好地清除羟基自由基,RPPC 的清除效果最佳.

2.3.2 清除超氧阴离子自由基($\cdot\text{O}_2^-$)能力

图 2 显示,随着多糖浓度的增加,RPLV、RPHM、RPPC 清除超氧自由基的能力呈一定的剂量-效应关系,且在这 3 种多糖中,RPPC 的清除效果更好,但不及维生素 C.在浓度为 1 mg/mL 时,RPLV、RPHM、RPPC 对超氧自由基的清除率分别为 51.8%、58.0%和 63.0%,RPLV、RPHM、RPPC 三者间两两差异极显著($P<0.01$).由此可见,RPLV、RPHM、RPPC 均可较好地清除超氧自由基,RPPC 的清除效果最佳.

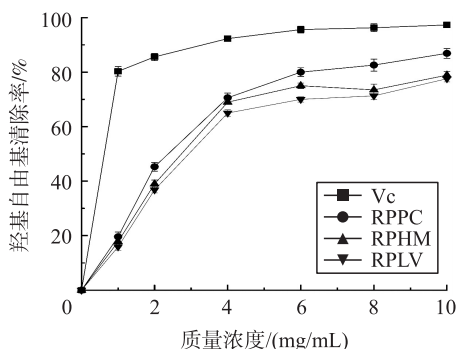


图 1 RPLV、RPHM、RPPC 对羟基自由基的清除率

Fig. 1 The scavenging ability on $\cdot\text{OH}$ of RPLV, RPHM, RPPC

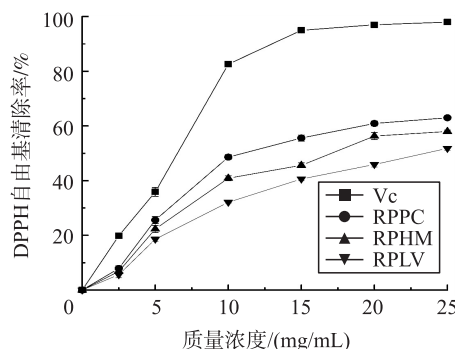


图 2 RPLV、RPHM、RPPC 对超氧阴离子自由基的清除率

Fig. 2 The scavenging ability on $\cdot\text{O}_2^-$ of RPLV, RPHM, RPPC

2.3.3 清除 DPPH 自由基能力

由图 3 可知,在 0~25 mg/mL 范围内,随着样品的浓度增加,RPLV、RPHM、RPPC 对 DPPH 自由基的清除能力也随之增大.在 20~25 mg/mL 之间,RPHM、RPLV、RPPC 清除率增加趋势放缓.当浓度为 25 mg/mL 时,RPLV、RPHM、RPPC 对 DPPH 自由基的清除率分别为 51.90%、54.30%和 70.63%,RPLV 与 RPHM 差异显著($P<0.05$),RPPC 与 RPLV、RPHM 差异极显著($P<0.01$).由此可见,RPLV、RPHM、RPPC 均可较好地清除 DPPH 自由基,以 RPPC 的清除效果最佳,但不及维生素 C.

2.3.4 还原力

由图 4 可知,RPLV、RPHM、RPPC 的还原力与样品的质量浓度呈一定的依赖性.在 1 mg/mL 以下,多糖的还原能力 $\text{RPLV}<\text{RPHM}<\text{RPPC}$,但无明显差异,均远低于维生素 C;当浓度为 8 mg/mL 时,RPLV、

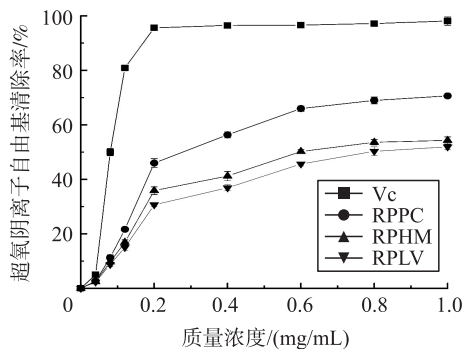


图 3 RPLV、RPHM、RPPC 对 DPPH 自由基的清除率

Fig. 3 The reducing power on $\cdot\text{DPPH}$ of RPLV, RPHM, RPPC

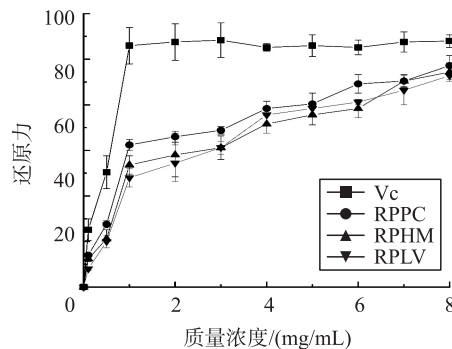


图 4 RPLV、RPHM、RPPC 的还原能力

Fig. 4 The reducing power of of RPLV, RPHM, RPPC

RPHM、RPPC 的还原力分别为 2.32、2.36 和 2.43, RPLV、RPHM、RPPC 两两间都无显著性差异 ($P>0.05$), 与维生素 C 的还原力(2.7)非常接近. 由此可见, RPLV、RPHM、RPPC 均是良好的还原剂, 其中 RPPC 的还原力最佳.

3 结论

自由基过多可诱发多种疾病, 从而影响人体健康^[23]. 清除体内过多的自由基除了靠自身条件外, 还可以通过摄入含有抗氧化剂的营养物质. 当前市场上出现的抗氧化剂基本上是合成药物, 长期摄入可能会对人体造成伤害. 有研究表明食用菌多糖具有抗氧化^[24]的功效, 因此食用菌多糖在天然无毒抗氧化剂方面的应用显得日益重要, 已成为当下的研究热点.

本研究从多汁乳菇子实体中提取多糖, 并经 Sevage 法除蛋白后得到多汁乳菇多糖(RPLV), 通过体外实验来比较 RPLV、RPHM、RPPC 清除 $\cdot\text{OH}$ 、 $\cdot\text{O}_2^-$ 、DPPH 自由基的能力及还原力. 实验结果表明, RPLV、RPHM、RPPC 均可较好地清除 $\cdot\text{OH}$ 、 $\cdot\text{O}_2^-$ 、DPPH 自由基, 均具有较强的还原力, 且与浓度呈依赖性, 其中 RPPC 清除 3 种自由基的能力及还原力都强于 RPLV、RPHM. RPPC 具有较强的抗氧化性可能与其结构相关, 有文献显示, 单糖组成、糖苷键构型、分子量大小都会对多糖的生理活性造成影响^[25-28], 在后期的研究中, 可对 3 种多糖的结构进行综合分析, 从而提供更准确的构效关系, 以为多糖的应用提供更充分的理论支撑.

[参考文献](References)

- [1] 汪启兵, 许凡萍, 魏超贤, 等. 人体内自由基的研究进展[J]. 中华流行病学杂志, 2016, 37(8): 1175-1182.
- [2] YU M, CAO Y, JI Y B, et al. Advances in study on structure of polysaccharide[C]//International Conference on Civil, Architectural, Structural and Constructional Engineering. Busan, South Korea, 2016.
- [3] 李娜, 余璇, 于巧红, 等. 中药多糖类成分稳定性研究进展[J]. 中国中药杂志, 2019, 44(22): 4793-4799.
- [4] 朱龙波, 詹志来, 郝庆秀, 等. 玛咖化学成分与生物活性研究进展[J]. 中国中药杂志, 2019, 44(19): 4142-4151.
- [5] 乔新荣, 叶润. 药用植物内生真菌多糖研究进展[J]. 化学试剂, 2020, 42(3): 269-274.
- [6] 孟庆龙, 金莎, 刘雅婧, 等. 植物多糖药理功效研究进展[J]. 食品工业科技, 2020, 41(11): 335-341.
- [7] 胡先运, 王传明, 江家志, 等. 多汁乳菇的研究及应用[J]. 北方园艺, 2014(18): 157-160.
- [8] 耿佳欢. 多汁乳菇多糖结构分析及生物活性研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2019.
- [9] 王美菊, 陆文娟, 喻晨, 等. 不同提取方法对姬菇多糖抗氧化活性的影响[J]. 南京师大学报(自然科学版), 2016, 39(4): 65-70.
- [10] 谢飞, 曹纯洁, 陈美珍, 等. 响应面试验优化末水坛紫菜多糖除蛋白工艺及其抗氧化活性[J]. 食品科学, 2016, 37(22): 77-84.
- [11] 田凤鸣, 陈强, 苏满春, 等. 京大戟多糖的提取及苯酚-硫酸法测定其多糖含量的研究[J]. 四川理工学院学报(自然科学版), 2018, 31(4): 14-19.
- [12] 高海荣, 陈秀丽, 赵爱娟, 等. 重铬酸钾分光光度法与福林酚比色法测定茶多酚的比较[J]. 中国食品添加剂, 2017(2): 162-166.
- [13] 陈依春, 李捷, 姚欢, 等. 紫外分光光度法测定市售檀香中总黄酮含量[J]. 中国民族民间医药, 2020, 29(1): 52-54.
- [14] 周林林. 海带渣中岩藻聚糖硫酸酯提取条件和硫酸基含量测定方法研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2013.
- [15] 李亚平, 周鸿立. 多糖中糖醛酸含量测定方法的研究进展[J]. 食品研究与开发, 2019, 49(17): 207-211.
- [16] 冯东辉. 两种蛋白质测定方法比较研究[J]. 农业技术与装备, 2019(8): 16-17.
- [17] 陈胜兵, 何少华, 娄金生, 等. Fenton 试剂的氧化作用机理及其应用[J]. 环境科学与技术, 2004, 27(3): 105-107.
- [18] 卢水木, 刘峰领, 张心意, 等. 爵床总黄酮含量测定方法及对羟基自由基的清除[J]. 西北民族大学学报(自然科学版), 2014, 35(1): 22-26.
- [19] 杨文丽, 杨光, 杨波. 纳豆多糖发酵工艺的优化及清除自由基研究[J]. 工业微生物, 2018, 48(6): 39-45.
- [20] 张水花, 江永刚, 赵红艳. 多汁乳菇多糖的微波辅助提取工艺及其清除 DPPH 自由基研究[J]. 北方园艺, 2016(14): 135-138.
- [21] 于海洋. 松杉灵芝多糖的发酵和提取条件优化及抗氧化活性研究[D]. 牡丹江: 牡丹江师范学院, 2015.

- [22] 王贺,方学智,杜孟浩,等. 茶粕多糖纯化及其理化特性、抗氧化和抑菌活性[J]. 食品工业科技,2019,40(3):48-53.
- [23] 曾小燕,李鸿霞,梁纪强,等. 中药多糖体外抗氧化作用研究进展[J]. 亚太传统医药,2020,16(7):181-188.
- [24] 郭富金. 松乳菇多糖的分离纯化及其抗氧化活性的研究[D]. 泰安:山东农业大学,2019.
- [25] SUN Y X,LIU J C. Purification, structure and immunobiological activity of a water-soluble polysaccharide from the fruiting body of *Pleurotus ostreatus*[J]. *Bioresource Technology*,2009,100(2):983-986.
- [26] LI B,ZHANG X Y,WANG M Z,et al. Characterization and antioxidant activities of acidic polysaccharides from *Gynostemma pentaphyllum*(Thunb.) Markino[J]. *Carbohydrate Polymers*,2015(127):209-214.
- [27] WU Y T,HUO Y F,XU L,et al. Purification, characterization and antioxidant activity of polysaccharides from *Porphyra haitanensis*[J]. *International Journal of Biological Macromolecules*,2020(165):2116-2125.
- [28] XIE L M,SHEN M Y,WEN P W,et al. Preparation, characterization, antioxidant activity and protective effect against cellular oxidative stress of phosphorylated polysaccharide from *Cyclocarya paliurus*[J]. *Food and Chemical Toxicology*,2020(145):111-114.

[责任编辑:严海琳]