

2 种常用食用菌中多糖化合物复配的体外抗氧化活性研究

倪焱, 张雄飞, 王仲* (武汉华夏理工学院生物与制药工程学院, 湖北武汉 430223)

摘要 [目的]研究金针菇、平菇多糖体外复配的抗氧化活性,以羟基自由基($\text{OH}\cdot$)和超氧阴离子($\text{O}_2^{\cdot-}$)为评价指标,探究多糖复配的可行性和有效性。[方法]以金针菇、平菇为原材料,优化多糖提取条件,然后进行体外抗氧化活性研究,测定其对 $\text{OH}\cdot$ 和 $\text{O}_2^{\cdot-}$ 清除率,研究复合多糖对自由基的清除能力,并与单一多糖进行比较。[结果]多糖的最优提取条件为超声时间 30 min,热水浸提温度为 90℃。在此条件下,金针菇得率为 1.25%,多糖纯度为 84.3%;平菇得率为 1.46%,多糖纯度 76.4%。复合多糖清除 $\text{OH}\cdot$ 的能力随着浓度的升高而升高,在金针菇多糖:平菇多糖=5:1的复配比例下会体现良好的协同性,优于单一多糖。复合多糖清除 $\text{O}_2^{\cdot-}$ 的能力也随着浓度的升高而升高,尤其在低浓度下,金针菇多糖:平菇多糖=3:1复配时具有比单一多糖更好的协同性。[结论]食用菌多糖的复配能有效提高其抗氧化活性。

关键词 金针菇;平菇;多糖;抗氧化活性;复配

中图分类号 S646 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2016)27-0089-04

Antioxidant Activity of the Compound Polysaccharides of Two Common Edible Fungus

NI Yan, ZHANG Xiong-fei, WANG Zhong* (College of Biotechnology and Pharmaceutical Engineering, Wuhan HuaXia University of Technology, Wuhan, Hubei 430223)

Abstract [Objective] To study the antioxidant activity of polysaccharides of *Flammulina velutipes* and *Pleurotus ostreatus* compound in vitro, to explore the feasibility and effectiveness of compound polysaccharides with hydroxyl radical ($\text{OH}\cdot$) and superoxide anion ($\text{O}_2^{\cdot-}$) as evaluation indexes. [Method] With *F. velutipes* and *P. ostreatus* as the raw materials, extraction condition of polysaccharides was optimized. Antioxidant activity in vitro was researched to measure the clearance rates of $\text{OH}\cdot$ and $\text{O}_2^{\cdot-}$, to study the scavenging activity of free radical of compound polysaccharides, and to compare it with single polysaccharide. [Result] The optimal extraction conditions of polysaccharide were 30 min ultrasonic wave, 90℃ extraction temperature of hot water. Under this condition, the extraction rate of *F. velutipes* was 1.25% and the purity of polysaccharides was 84.3%. The extraction rate of *P. ostreatus* was 1.46%, and the purity of polysaccharides was 76.4%. The ability of compound polysaccharides to remove $\text{OH}\cdot$ rose to higher concentration. Under *F. velutipes*: *P. ostreatus* = 5:1, compound polysaccharides reflected good cooperativity, which was superior to single polysaccharide. The ability of compound polysaccharides to remove $\text{O}_2^{\cdot-}$ enhanced in higher concentration. Especially under low concentration and *F. velutipes*: *P. ostreatus* = 3:1, compound polysaccharides showed better cooperativity. [Conclusion] The compound of edible fungus polysaccharides can effectively improve its antioxidant activity.

Key words *Flammulina velutipes*; *Pleurotus ostreatus* Polysaccharides; Antioxidant activity; Compound

金针菇,《中国植物图鉴》上称朴蕈,在真菌分类学上属担子菌亚门、层菌纲、伞菌目、口蘑科、小火焰菌属^[1]。金针菇多糖是其生物活性成分,具有抗氧化等多种生物活性^[2]。李守勉等通过结晶紫法测得,质量浓度 1% 金针菇多糖溶液对羟基自由基($\text{OH}\cdot$)的清除能力为 5.10%^[3]。Yang 研究发现,0.5 mol/mL 金针菇多糖对自由基的清除率为 63.17%^[4]。Wu 等发现,金针菇多糖对活性氧的清除能力较其他还原剂如 V_c 、茶多酚等显著,对自由基的清除率随浓度的增加而逐渐增大^[5]。

平菇,又名侧耳、糙皮侧耳、蚝菇、黑牡丹菇,隶属于担子菌门、伞菌亚门、伞菌纲、伞菌亚纲、伞菌目、侧耳科、侧耳属,是一种相当常见的灰色食用菌^[1]。大量药理学研究表明,平菇多糖具有良好的抗氧化等生物活性^[6-7]。Xia 等研究发现,8 mg/mL 平菇多糖粗品(POP)对超氧阴离子($\text{O}_2^{\cdot-}$)的清除率为 40.5%,且纯化后的多糖对 $\text{O}_2^{\cdot-}$ 的清除能力显著提高^[8]。平菇菌丝体中能够提取出一种非淀粉多糖(MIN-SP),它能够显著改善一些病症,比如因 CCl_4 而造成的肝细胞氧化损害,而从平菇中提取出来的葡聚糖还能够减少炎症因子 $\text{TNF}-\alpha$ 、 $\text{IL}-1$ 和 $\text{IL}-6$ 的分泌,能减轻患有关节炎的大鼠疼痛和氧化应激反应^[9]。

目前国内外关于糖复合的理论及其研究的报道甚少。肖建辉认为,方剂可通过作用于相同生理系统、性能功效差不多的成分在数量(量变)上产生变化的时候,功效上能够产生协同并伴随着新的成分(质变)的产生,由此增加新的功效^[10]。食用菌多糖都具备较好的抗氧化性,而目前的研究对于各种多糖的抗氧化性也都取得了不错的结果,但是对于复合多糖的抗氧化性研究较少。笔者通过平菇和金针菇多糖的复配,测定复合多糖的抗氧化活性,并验证复合多糖的有效性和可行性,旨在为食用菌多糖产品的开发和利用提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 原料。金针菇、平菇,购于武汉市关南园市场。

1.1.2 试剂。苯酚,分析纯(天津市大茂化学试剂厂);邻二氮菲,分析纯(天津市登科化学试剂有限公司);硫酸亚铁,分析纯(国药集团化学试剂有限公司);双氧水,分析纯(天津市大茂化学试剂厂);Tris,分析纯(蚌埠化学制药厂);邻苯三酚,分析纯(国药集团化学试剂有限公司);抗坏血酸,分析纯(国药集团化学试剂有限公司)。

1.1.3 仪器。JY92-II 型超声波细胞粉碎机(上海新芝生物技术研究);722N 可见分光光度计(上海精密科学仪器有限公司);JY2002 电子天平(上海舜宇恒平科学仪器有限公司);TG16-WS 医用离心机(长沙平凡仪器仪表有限公

作者简介 倪焱(1989-),女,湖北武汉人,硕士研究生,研究方向:应用微生物。*通讯作者,讲师,硕士研究生,从事天然产物化学研究。

收稿日期 2016-07-13

司);GRX-9241B 热空气消毒机(上海福玛实验设备有限公司)。

1.2 方法

1.2.1 粗多糖的提取。

1.2.1.1 超声时间对多糖提取效果的影响。取 5 g 干菇粉,加入 150 mL 水(料液比为 1:30),分别超声波处理 20、30、60 min。然后放置于离心机中进行离心,转速 4 000 r/min,离心 10 min,取上层清液待用。将上层清液置于原烧杯中,加入无水乙醇,使乙醇终浓度为 75%,使用玻璃棒摩擦杯内壁 30 min,静置 14 h,置于离心机中进行离心,转速 3 000 r/min,离心 5 min,取沉淀物,烘干,得到粗多糖。

1.2.1.2 温度对多糖提取效果的影响。取 5 g 干菇粉,加 150 mL 水(料液比为 1:30),在最优条件下进行超声提取,然后分别在 70、80、90、95 ℃水浴锅中加热 3 h,进行提取,方法同“1.2.1.1”,得到粗多糖产物。

1.2.2 多糖含量的测定。采用硫酸苯酚法。

1.2.3 多糖体外抗氧化活性研究。

1.2.3.1 对 OH·清除能力的测定。根据 Fenton 反应原理,参考周萍^[11]的测定方法。

1.2.3.2 对 O₂⁻·清除能力的测定。采用邻苯三酚自氧化法,参考周萍^[11]的测定方法。

1.2.4 统计分析。所有数据以 X±S 表示,以复合多糖配方为因素 A,多糖浓度为因素 B,使用 DPS9.0 进行 2 因素方差分析,并根据结果进行多重比较,对各个复配比例真菌多糖的活性氧清除能力进行显著性检验,从而对真菌多糖体外清除活性效果进行进一步比较分析。

2 结果与分析

2.1 金针菇、平菇多糖的提取

2.1.1 超声时间。由表 1 可知,采用超声波进行破壁可以明显提高多糖产量,但时间过长并没有很大的提升,故选取 30 min 较合适。

2.1.2 提取温度。由表 2 可知,在一定范围内温度越高提取效果越好,超过 90 ℃时影响就不大,故选择 90 ℃较好。

表 1 超声时间对金针菇、平菇多糖提取效果的影响
Table 1 Effects of ultrasonic time on polysaccharide extraction of *Flammulina velutipes* and *Pleurotus ostreatus*

超声时间 Ultrasonic time//min	多糖产量 Polysaccharide yield	
	平菇 <i>Pleurotus ostreatus</i> //mg	金针菇 <i>Flammulina velutipes</i> //mg
0	2.4	2.7
20	4	4.3
30	5.2	5.6
60	5.4	5.8

2.1.3 多糖产量。干燥金针菇 40 g,得到金针菇多糖 490 mg,得率 1.25%,多糖纯度为 84.3%。平菇 39 g,得到平菇多糖粗品 570 mg,得率 1.46%,多糖纯度 76.4%。

2.2 金针菇多糖、平菇多糖以及两者复配多糖清除 OH·特性 表 3 表明,单一的金针菇和平菇多糖对 OH·都有良好

的清除能力,且随着浓度的提高,清除率不断提高,最高清除率都在 36% 以上。金针菇多糖对 OH·的清除效果较平菇要高 10 个百分点左右,金针菇多糖最高达 68.2%,而平菇为 36.1%,说明金针菇多糖对 OH·的清除效果要优于平菇多糖。

表 2 不同温度对金针菇、平菇多糖提取效果的影响
Table 2 Effects of temperature on polysaccharide extraction of *Flammulina velutipes* and *Pleurotus ostreatus*

温度 Temperature/℃	多糖产量 Polysaccharide yield	
	平菇 <i>Pleurotus ostreatus</i> //mg	金针菇 <i>Flammulina velutipes</i> //mg
70	3.1	3.4
80	4.6	4.7
90	5.2	5.6
95	5.1	5.4

表 3 不同多糖处理组合对 OH·清除率的影响
Table 3 Effects of polysaccharide treatments on the clearance rate of OH·

组别 Group	浓度 Concentration mg/mL	清除率 Clearance rate//%
金针菇多糖 <i>Flammulina velutipes</i> polysaccharides	0.2	14.4±0.47e
	0.4	24.6±0.80d
	0.6	30.8±0.56c
	0.8	43.1±0.45b
	1.0	68.2±0.32a
平菇多糖 <i>Pleurotus ostreatus</i> polysaccharides	0.2	6.5±1.10d
	0.4	7.8±0.55d
	0.6	19.8±0.49c
	0.8	33.0±0.26b
	1.0	36.1±0.68a
金针菇:平菇 <i>Flammulina velutipes</i> : <i>Pleurotus ostreatus</i> (1:1)	0.2	20.6±1.88e
	0.4	43.2±0.18d
	0.6	51.7±1.40c
	0.8	58.6±0.50b
	1.0	92.2±0.27a
金针菇:平菇 <i>Flammulina velutipes</i> : <i>Pleurotus ostreatus</i> (1:3)	0.2	17.3±0.64e
	0.4	28.8±0.36d
	0.6	39.8±0.51c
	0.8	43.8±1.44b
	1.0	54.8±0.67a
金针菇:平菇 <i>Flammulina velutipes</i> : <i>Pleurotus ostreatus</i> (1:5)	0.2	18.8±0.47d
	0.4	29.7±0.70c
	0.6	32.5±0.63c
	0.8	44.3±0.39b
	1.0	55.1±0.64a
金针菇:平菇 <i>Flammulina velutipes</i> : <i>Pleurotus ostreatus</i> (3:1)	0.2	19.0±0.62e
	0.4	33.8±0.62d
	0.6	53.7±0.57c
	0.8	67.9±0.62b
	1.0	76.5±0.36a
金针菇:平菇 <i>Flammulina velutipes</i> : <i>Pleurotus ostreatus</i> (5:1)	0.2	15.3±0.56e
	0.4	59.0±0.79d
	0.6	78.5±1.49c
	0.8	88.3±0.56b
	1.0	97.5±0.31a

注:表中同列不同小写字母表示处理间差异显著(α=0.05)
Note:Different lowercases in the same two indicated significant differences (α=0.05) between treatments.

金针菇:平菇=1:1的情况下,平均 OH·清除率比单一的金针菇多糖、平菇多糖分别高 18.0、32.6 个百分点,随着浓度的上升,清除率也在逐渐的增加,浓度 1.0 mg/mL 达最高,为 92.2%,比金针菇多糖高出了 24.0 个百分点;金针菇:平菇=1:3的情况下,OH·清除率在低浓度下比单一的金针

菇、平菇多糖高,但当浓度在 1.0 mg/mL 时清除率仅为 54.8%,比单一金针菇多糖低 13.4 个百分点;金针菇:平菇 = 1:5 的情况下,与金针菇:平菇 = 1:3 的情况类似,在 1.0 mg/mL 的浓度下对 OH·清除率较单一金针菇多糖低 13.1 个百分点。金针菇:平菇 = 3:1 时,OH·清除率随着浓度的上升而上升,在 0.2 mg/mL 时比单一的金针菇多糖、平菇多糖分别高 4.6、14.5 个百分点,而到 1.0 mg/mL 时比单一金针菇多糖高 8.3 个百分点,高于单一平菇多糖 40.4 个百分点;金针菇:平菇 = 5:1 时与 3:1 时情况类似,但是效果更加明显,最高浓度为 1.0 mg/mL 时,比单一金针菇多糖高 29.3 个百分点,比平菇多糖高 61.3 个百分点。

在金针菇:平菇 = 1:1 条件下,高浓度能够取得非常好的协同效应,多糖活性明显提高。在平菇多糖占优势时,并不能有效提高复合多糖的抗氧化活性。在金针菇多糖占优势时,随着金针菇多糖比例的变化,在一定的复配比例下的复合多糖,OH·清除率较单一金针菇多糖的清除率有明显的提高,说明复合多糖能够较单一多糖组分的 OH·清除能力高。对金针菇:平菇各个组合比例进行 2 因素方差分析,金针菇:平菇 = 5:1 清除效果最好,无论在复配种类还是在浓度与功效之间都具有显著差异性,金针菇:平菇在 5:1 条件下浓度、种类间的 F 值均大于 $F_{0.01}$,说明浓度、种类间对 OH·清除率的影响差异是显著的。从表 4 可以看出,金针菇多糖与平菇多糖无明显差异,而金针菇:平菇 = 5:1 的复配条件下与其单一多糖具有显著性差异。综合方差分析结果,可以将金针菇:平菇 = 5:1 的复配条件作为最优配比,在这个比例下多糖复合效果最好。

表 4 不同处理对 OH·清除率的差异显著性检验
Table 4 The significance test of difference on clearance rates of different treatments to OH·

处理 Treatment	平均清除率 Average clearance rate/%
金针菇、平菇复合 Compound (5:1)	67.67a
金针菇多糖 <i>Flammulina velutipes</i> polysaccharides	36.22b
平菇多糖 <i>Pleurotus ostreatus</i> polysaccharides	20.64b

注:表中同列不同小写字母表示处理间差异显著 ($\alpha=0.05$)
Note: Different lowercases in the same two indicated significant differences ($\alpha=0.05$) between treatments.

2.3 金针菇多糖、平菇多糖以及两者复配多糖清除 O_2^- ·特性 表 5 表明,单一的金针菇多糖和平菇多糖都具备比较好的 O_2^- ·清除能力,且随着浓度的上升,清除能力逐渐增强,浓度 1 mg/mL 对 O_2^- ·清除率都在 28% 以上。金针菇多糖对 O_2^- ·的清除效果较平菇要高 20.0 个百分点左右,金针菇多糖最高达 59.5%,即金针菇多糖对于 O_2^- ·的清除效果要好于平菇多糖。

金针菇:平菇 = 1:1 的复配条件下,浓度为 0.2 mg/mL 时, O_2^- ·清除率比单一的金针菇多糖低 5.0 个百分点,比单一的平菇高 10.0 个百分点,且随着浓度的上升,清除率逐渐增加,在最高 1.0 mg/mL 浓度下,比单一的金针菇多糖高 6 个百分点,比单一的平菇高 33.0 个百分点;金针菇:平菇 =

1:3 的复配条件下,与单一的金针菇多糖和平菇多糖对 O_2^- ·清除率相比,在低浓度下比 2 个单一多糖高,随着浓度的升高到 1.0 mg/mL 时,比单一金针菇多糖低 1.0 个百分点,比平菇多糖高 30.0 个百分点;金针菇:平菇 = 1:5 的复配条件下,低浓度时与 1:1 相似,在 0.2 mg/mL 时 O_2^- ·清除率比单一金针菇多糖低 8.7 个百分点,比平菇多糖高 7.1 个百分点,而在高浓度时,比单一金针菇多糖低 7.4 个百分点,比平菇多糖高 24.1 个百分点;金针菇:平菇 = 3:1 的复配条件下,在浓度为 0.2 mg/mL 时, O_2^- ·清除率比单一的金针菇多糖高 15.1 个百分点,比单一的平菇高 30.9 个百分点,随着浓度的上升,清除率也在逐渐的增加,最高在 1.0 mg/mL 浓度下,比单一的金针菇多糖高 1.0 个百分点,比单一的平菇高 32.0 个百分点;金针菇:平菇 = 5:1 的情况下,与 3:1 时不同,低浓度时比单一多糖都要高,随着浓度的上升, O_2^- ·清除率不断上升,在 1.0 mg/mL 浓度下,比平菇多糖高 17.9 个百分点,但是比金针菇多糖低 13.6 个百分点。

表 5 不同多糖处理对 O_2^- ·清除率
Table 5 Clearance rate of polysaccharides treatment to O_2^- ·

组别 Group	浓度 Concentration mg/mL	清除率 Clearance rate/%
金针菇多糖 <i>Flammulina velutipes</i> polysaccharides	0.2	16.2 ± 0.44e
	0.4	28.0 ± 0.25d
	0.6	44.3 ± 0.17d
	0.8	54.4 ± 0.28b
	1.0	59.5 ± 0.52a
平菇多糖 <i>Pleurotus ostreatus</i> polysaccharides	0.2	0.4 ± 0.03d
	0.4	0.7 ± 0.04d
	0.6	14.0 ± 0.54c
	0.8	15.0 ± 0.66b
	1.0	28.0 ± 0.22a
金针菇:平菇 <i>Flammulina velutipes</i> : <i>Pleurotus ostreatus</i> (1:1)	0.2	11.9 ± 0.28e
	0.4	28.6 ± 0.29d
	0.6	44.5 ± 0.44c
	0.8	54.2 ± 0.43b
	1.0	61.6 ± 0.32a
金针菇:平菇 <i>Flammulina velutipes</i> : <i>Pleurotus ostreatus</i> (1:3)	0.2	17.0 ± 0.06e
	0.4	32.3 ± 0.29d
	0.6	42.4 ± 0.35c
	0.8	49.6 ± 0.19b
	1.0	58.0 ± 0.55a
金针菇:平菇 <i>Flammulina velutipes</i> : <i>Pleurotus ostreatus</i> (1:5)	0.2	7.5 ± 0.56e
	0.4	17.0 ± 0.41d
	0.6	27.0 ± 0.35c
	0.8	37.0 ± 0.21b
	1.0	52.1 ± 0.38a
金针菇:平菇 <i>Flammulina velutipes</i> : <i>Pleurotus ostreatus</i> (3:1)	0.2	31.3 ± 0.06c
	0.4	35.2 ± 0.56c
	0.6	54.1 ± 0.17b
	0.8	55.7 ± 0.44a
	1.0	60.7 ± 0.06a
金针菇:平菇 <i>Flammulina velutipes</i> : <i>Pleurotus ostreatus</i> (5:1)	0.2	29.2 ± 0.33d
	0.4	29.5 ± 0.29d
	0.6	35.1 ± 0.35c
	0.8	40.1 ± 0.22b
	1.0	45.9 ± 0.33a

注:表中同列不同小写字母表示处理间差异显著 ($\alpha=0.05$)
Note: Different lowercases in the same two indicated significant differences ($\alpha=0.05$) between treatments.

在金针菇:平菇 = 1:1 条件下高浓度能够取得非常好的协同效应,提高多糖的活性。在平菇多糖占优势时,并不能提高对 O_2^- ·清除能力。金针菇多糖占优势时,随着金针菇多糖比例的变化,在一定的复配浓度和比例下,复合多糖

O_2^- ·清除能力较金针菇多糖、平菇多糖有所提高,说明复合多糖能够提高单一多糖 O_2^- ·清除能力。对金针菇:平菇各个组合进行 2 因素方差分析。金针菇:平菇 = 3:1 清除效果最好,无论在复配种类还是在浓度与功效之间都具有显著的差异性,金针菇:平菇在 3:1 条件下浓度、种类间的 F 值均大于 $F_{0.01}$,说明浓度、种类间对 O_2^- ·清除率的差异是显著的。从表 6 可以看出,金针菇:平菇 = 3:1 与单一多糖的清除率具有显著差异。经方差分析,可以将金针菇:平菇 = 3:1 的复配条件作为最优配比,在这个比例下复合多糖对 O_2^- ·清除的能力最强。

表 6 不同处理间对 O_2^- ·清除率的差异显著性检验

Table 6 The significance test of difference on the clearance rate of different treatments to O_2^- ·

处理 Treatment	平均清除率 Average clearance rate//%
金针菇、平菇复合(3:1)Compound	47.4 a
金针菇多糖 <i>Flammulina velutipes</i> polysaccharides	36.5 b
平菇多糖 <i>Pleurotus ostreatus</i> polysaccharides	11.6 b

注:表中同列不同小写字母表示处理间差异显著($\alpha=0.05$)

Note: Different lowercases in the same two indicated significant differences ($\alpha=0.05$) between treatments.

3 结论

3.1 多糖提取条件的优化 金针菇和平菇都有很厚的细胞壁,如果不直接用热水浸提效果有限,故使用超声波进行处理,既可以物理破壁又不会破坏多糖的生物活性。从试验结果可知,超声 30 min 比较理想,足以充分进行破壁处理。多糖在常温下虽然也可溶于水,但是消耗时间较长,且需要使用大量的溶剂,在进行醇沉的时候也会使乙醇的用量提升很多;而当溶剂温度过高的时候,则会破坏多糖的活性。由试验结果可知,90℃时,多糖提取率最高。

3.2 复合多糖对 $OH\cdot$ 的清除效果 $OH\cdot$ 是已知活性最高的氧化剂,对机体的破坏力很强。该研究采用体外化学模拟 $OH\cdot$ 体系检测复合多糖对 $OH\cdot$ 的直接清除机制。多糖链是大分子长链,在氢键的作用下当溶液中存在 2 种或者几种不同多糖的大分子长链时,会导致不同多糖链之间产生相容性,从而引起构象的改变,在这个过程中,多糖的 C-H 键快速与 $OH\cdot$ 发生反应而结合成水,大大减少了 $OH\cdot$ 自由基在体系中的量^[12]。通过对金针菇多糖和平菇多糖的不同比

例、不同浓度复配来研究复合多糖体外 $OH\cdot$ 清除能力。经过一定比例、浓度配伍后产生的复合多糖较之单一多糖 $OH\cdot$ 清除能力更强。而在此次研究中可以得出,金针菇与平菇多糖复配时,金针菇多糖中加入少许的平菇多糖即可表现出良好的正协同性和量效关系,即当金针菇多糖:平菇多糖 = 5:1 时能获得最大的 $OH\cdot$ 清除能力。

3.3 复合多糖对 O_2^- ·的清除效果 O_2^- ·属于活性氧的一种,也具有非常强的氧化性, O_2^- ·也属于对机体危害性很大的自由基。笔者研究金针菇多糖和平菇多糖不同浓度复配对体外 O_2^- ·的清除效果。经过一定比例、浓度配伍后产生的复合多糖较之单一多糖 O_2^- ·清除能力更强。而从该研究中可以得出,尤其在低浓度条件下时,金针菇与平菇多糖比例为 3:1 时能够达到比较优异的效果。

3.4 复合多糖的抗氧化性 综上所述,在一定比例和一定浓度下,复配多糖能够表现出很好的协同性,抗氧化性比单一多糖明显提高,说明复合多糖的某些生物活性要优于单一多糖,这为食用菌复合多糖的抗氧化活性研究奠定了基础。

参考文献

- [1] 暴增海. 食用菌栽培原理与技术[M]. 北京:中国标准出版社,2000.
- [2] XIA Z Q. Preparation of the oligosaccharides derived from *Flammulina velutipes* and their antioxidant activities[J]. Carbohydrate polymers, 2015, 118:41-43.
- [3] 李守勉,任清,李明,等. 金针菇多糖的提取及其美容功效评价[J]. 食用菌,2009,31(5):72-73.
- [4] YANG W J, FANG Y, LIANG J, et al. Optimization of ultrasonic extraction of *Flammulina velutipes* polysaccharides and evaluation of its acetylcholinesterase inhibitory activity[J]. Food research international, 2011, 44: 1269-1275.
- [5] WU X Z, GAO X D. The liver-protective and antitumor effects of extract from *Flammulina velutipes* in mice[J]. China Biochem Pharm, 2012, 23(4):176-178.
- [6] 王金玺. 平菇多糖分离纯化、结构表征与修饰及抗氧化性的研究[D]. 扬州:扬州大学,2013.
- [7] ZHANG Y X, LING D, KONG X W, et al. Characterization and in vitro antioxidant activities of polysaccharides from *Pleurotus ostreatus*[J]. International journal of biological macromolecules, 2012, 51:259-265.
- [8] XIA F G, FAN J H, ZHU M, et al. Antioxidant effect of a water-soluble proteoglycan isolated from fruiting bodies of *Pleurotus ostreatus*[J]. Journal of the Taiwan institute of chemical engineers, 2011, 42:402-407.
- [9] 朱彩平,翟希川,张晓,等. 平菇多糖提取分离纯化及生物活性的研究进展[J]. 食品工业科技,2015,36(6):359-364.
- [10] 肖建辉,蒋依辉. 食药两用真菌多糖研究进展[J]. 生命的化学,2002,22(2):148-151.
- [11] 周萍,安东,王朝川,等. 食用菌复合多糖的抗氧化活性研究[J]. 中国食用菌,2011,30(6):42-44.
- [12] 李俊丽,向长萍. 南瓜水溶性多糖提取及抗氧化性能的研究[J]. 湖北农业科学,2006,45(5):6111-6114.

(上接第 74 页)

- [12] 吴德惠,江洪,杨爽,等. 真空预冷和贮藏温度对有机杭白菜品质的影响[J]. 贵州农业科学,2013,41(4):120-123.
- [13] 宋连军,赵秋燕,乔明武. 不同贮藏方式对白菜亚硝酸盐和 V_c 含量的影响[J]. 安徽农业科学,2007,35(36):12046-12047.
- [14] 钱和,蒋将,陈正行. 蔬菜中硝酸盐与亚硝酸盐的积累规律与控制方法[J]. 食品科技,2007(1):64-67.
- [15] 柯维忠,罗春华,林国卫,等. 不同贮藏方式对蔬菜硝酸盐及 V_c 含量的影响[J]. 湖南农业科学,2011(21):94-105.
- [16] POLDMA P, MOOR U, MERIVÉE A, et al. Effect of controlled atmosphere storage on storage life of onion and garlic cultivars [C]//IV International Conference Postharvest Unlimited 2011. Leuven worth: International Socie-

ty for Horticultural Science, 2012:63-69.

- [17] SCHREINER M C, PETERS P J, KRUMBEIN A B. Glucosinolates in mixed-packaged mini broccoli and mini cauliflower under modified atmosphere[J]. Journal of agriculture and food chemistry, 2006, 54(6):2218-2222.
- [18] ESCALONA V H, AGUAYO E, ARTÉS F. Extending the shelf life of Kohlrabi stems by modified atmosphere packaging[J]. Journal of food science, 2007, 72(5):308-313.
- [19] 敖静,黄雪梅,张昭其. 蔬菜气调贮藏保鲜技术研究进展[J]. 保鲜与加工,2015,15(4):72-76.
- [20] 刘才宇,朱培蕾,赵桂云,等. 叶菜类蔬菜贮藏保鲜技术研究进展[J]. 安徽农业大学学报,2011,38(5):797-801.