

DOI: 10.3969/j.issn.1005-6521.2018.04.001

不同分子量段巢脾多糖理化性质及其抗氧化活性分析

殷玲¹, 吉挺², 战旭梅¹, 李冠华¹

(1. 江苏农牧科技职业学院, 江苏 泰州 225300; 2. 扬州大学 动物科技学院, 江苏 扬州 225009)

摘要: 采用超滤法对巢脾多糖进行分级分离, 获得分子量为 4 kDa-10 kDa(HCP-1)、10 kDa-50 kDa(HCP-2)、50 kDa-100 kDa(HCP-3), 大于 100 kDa(HCP-4) 4 个不同分子量段的巢脾多糖, 对 4 个分子量段巢脾多糖的理化性质和抗氧化活性进行分析。结果显示巢脾多糖中蛋白质含量随着分子量的增大而增高, 还原糖含量则随着分子量的增大而减小; 各分子量段巢脾多糖紫外及红外光谱特征相似, 而单糖组成及含量差异较大, HCP-3 及 HCP-4 中单糖种类及含量相比于 HCP-1 及 HCP-2 都较为丰富。体外抗氧化活性分析结果显示, 在一定浓度范围内, 各分子量段多糖对超氧自由基、羟自由基清除能力及总抗氧化能力与多糖浓度呈明显的量效关系, 其中 HCP-4 的抗氧化活性最强。

关键词: 巢脾; 多糖; 分子量; 理化性质; 抗氧化

Comparison of Physicochemical Properties and Antioxidant Activity of Polysaccharides from Honeybee Comb with Different Molecular Weights

YIN Ling¹, JI Ting², ZHAN Xu-mei¹, LI Guan-hua¹

(1. Jiangsu Agri-animal Husbandry Vocational College, Taizhou 225300, Jiangsu, China; 2. College of Animal Science and Technology, Yangzhou University, Yangzhou 225009, Jiangsu, China)

Abstract: The honeycomb polysaccharides (HCP) was separated to 4 different ranges of molecular weight by ultrafiltration membrane, which were 4 kDa-10 kDa (HCP-1), 10 kDa-50 kDa (HCP-2), 50 kDa-100 kDa (HCP-3) and >100 kDa (HCP-4), and the physicochemical properties and antioxidant activity of the 4 HCPs were analyzed. The results showed that the protein content in the HCPs increased with the increase of molecular weight, but the reducing sugar content decreased with the increase of molecular weight; UV absorption and infrared spectrum characteristics of the 4 HCPs were similar, however, the monosaccharide composition were greatly different, the kinds and content of monosaccharide in HCP-3 and HCP-4 were more abundant compared with HCP-1 and HCP-2. According to the results of analysis in the certain concentration range, there was a clear concentration-response relationship of HCPs concentrations and the antioxidative activity, including total antioxidant capacity, the scavenging capacity on the super oxygen free radical and hydroxyl radical. HCP-4 showed the strongest antioxidant activity of the 4 HCPs.

Key words: honeybee comb; polysaccharide; molecular weights; physicochemical properties; antioxidation activity

引文格式:

殷玲, 吉挺, 战旭梅, 等. 不同分子量段巢脾多糖理化性质及其抗氧化活性分析[J]. 食品研究与开发, 2018, 39(4): 1-7
YIN Ling, JI Ting, ZHAN Xumei, et al. Comparison of Physicochemical Properties and Antioxidant Activity of Polysaccharides from Honeybee Comb with Different Molecular Weights[J]. Food Research and Development, 2018, 39(4): 1-7

基金项目: 国家自然科学基金青年科学基金项目(31502020); 江苏农牧科技职业技术学院重点科研课题(NSFRC1401); 江苏农牧科技职业技术学院科研课题(NSFPT201521); 校企合作课题(00010115004)

作者简介: 殷玲(1983—), 女(汉), 讲师, 博士, 研究方向: 蜂产品开发及深加工。

中国是世界第一养蜂大国,养蜂生产淘汰下来的巢脾数量相当可观。蜜蜂世代在巢脾内栖息和繁衍,老巢脾内残留大量蜂蜜、花粉、蜂王浆、蜂胶、幼虫茧衣及其分泌物,研究表明蜜蜂巢脾含有大量的生物活性成分,如多糖、有机酸、生物碱、鞣质以及苷类等^[1-3]。蜜蜂巢脾具有抑菌杀菌,杀虫攻毒,祛风镇痛,降血压,降血脂,抗氧化等多种生物学及药理学价值^[4-6]。但巢脾常被用来提取蜂蜡,而其它活性物质却被丢弃,造成了极大的资源浪费。近年来,随着人们对天然多糖研究的深入,天然多糖所具有的调节人体免疫、抗氧化、抗肿瘤、降低固醇等各种生理功能逐渐为人们所重视^[7-9],多糖已经开始在食品、功能性保健品、药物等领域进行开发应用^[10-11]。蜜蜂巢脾多糖(下文简称巢脾多糖)是蜜蜂巢脾中的主要功效成分,有着重要的开发价值和广阔的应用空间,而目前对于蜂巢多糖的生物活性研究仍处于空白。多糖的生物学活性受到多糖的分子量,结构,及其理化性质如黏度、溶解度等因素的影响^[12-13]。本试验采用超滤法对巢脾多糖进行分级分离,获得分子量为4 kDa~10 kDa(HCP-1)、10 kDa~50 kDa(HCP-2)、50 kDa~100 kDa(HCP-3),大于100 kDa(HCP-4)4个不同分子量段的巢脾多糖,并对4个分子量段巢脾多糖的理化性质和抗氧化活性进行分析,以期对巢脾多糖的构效关系研究及活性成分的有效开发利用提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

西方蜜蜂老巢脾(使用3年以上)。

氯仿、正丁醇、乙酸乙酯、咪唑、溴化钾、乙腈、甲醇、磷酸二氢钠(均为分析纯):国药集团化学试剂有限公司;三氟乙酸(TFA)、1-苯基-3-甲基-5-吡啶酮(PMP)、单糖标准品均为(色谱纯):上海源叶生物科技有限公司。

抗超氧阴离子测定试剂盒、羟自由基测定试剂盒、总抗氧化测定试剂盒:南京建成生物制药研究所。

1.2 仪器与设备

MSC300超滤杯、截留分子量为4、10、50、100 kDa的超滤膜:上海魔速科学器材有限公司;4种超滤膜紫外可见分光光度计T6、双光束紫外可见分光光度TU-1901:北京普析通用仪器有限公司;高效液相色谱1260:德国安捷伦公司;显微红外光谱仪670:美国Varian公司;全波长扫描式多功能读数仪:美国Thermo公司。

1.3 方法

1.3.1 蜜蜂巢脾多糖的提取及分级

粉碎的蜜蜂巢脾→按1:15(g/mL)加入蒸馏水→50℃水浴锅水浴90 min→120目纱布过滤→重复3次→浓缩至原溶液的1/4→冷却离心→1:4无水乙醇→4℃静置过夜→取沉淀离心→蜜蜂巢脾粗多糖→去色素→去蛋白→蜜蜂巢脾多糖→依次使用截留分子量的为4、10、50、100 kDa的超滤膜超滤→获得分子量为4 kDa~10 kDa(HCP-1)、10 kDa~50 kDa(HCP-2)、50 kDa~100 kDa(HCP-3),大于100 kDa(HCP-4)的多糖样品。

1.3.2 巢脾多糖基本理化性质的测定

1.3.2.1 基本组成测定

分别采用费林试剂反应及硫酸-苯酚法测定蜜蜂巢脾多糖中还原糖及总糖含量;利用三氯化铁反应及碘-碘化钾反应分别检测多羟基酚类物质及淀粉;考马斯亮蓝法检测蛋白质含量;硫酸-咪唑法检测糖醛酸含量;pH计在室温下测其pH值;不同极性溶液检测其溶解性。

液相色谱法测定巢脾多糖的单糖组成。液相色谱条件^[14]为色谱柱:ZORBAX Eclipse XDB-C18, 250 mm×4.6 mm×5 μm;流动相:0.1 mol/L磷酸二氢钾(pH6.7)缓冲液-乙腈(0~18 min体积比为82:18, 18 min~40 min体积比为83:17);柱温:25℃;检测波长:250 nm;流速:1 mL/min;进样体积:20 μL。检测器:DAD。

1.3.2.2 光谱分析

巢脾多糖样品(0.05 mg/mL)置于紫外可见分光光度计中190 nm~380 nm波长处进行扫描。巢脾多糖(充分干燥粉末)少许,加入少许溴化钾晶体,在红外灯照射下于玛瑙研钵中轻轻研磨至极细,用压片机压制成透明薄片,经显微红外光谱仪400 cm⁻¹~4 000 cm⁻¹中红外区扫描。

1.3.3 体外抗氧化能力检测

按照试剂盒方法测定各分子量段的巢脾多糖体外抑制羟自由基能力、抗超氧阴离子能力及总抗氧化能力。

2 结果与分析

2.1 不同分子量段蜜蜂巢脾多糖理化性质鉴定

2.1.1 不同分子量段蜜蜂巢脾多糖的单糖基本组成

对不同分子量巢脾多糖的蛋白质含量、总糖含量、糖醛酸含量、还原糖含量及pH值进行分析,结果见表1。

表 1 不同分子量巢脾多糖组分及 pH 值分析

Table 1 The basic composition and pH of comb polysaccharide with different molecular weights

多糖级别	蛋白质含量/(g/100 g)	总糖含量/(g/100 g)	糖醛酸的含量/(g/100 g)	还原糖含量/(g/100 g)	pH 值
HCP-1	3.35±0.13	73.54±2.11	0.19±0.05	11.95±1.32	7.28±0.43
HCP-2	10.11±0.56	75.03±2.30	0.17±0.02	10.14±1.07	7.41±0.66
HCP-3	13.40±0.77	76.95±2.07	0.22±0.07	7.94±1.21	7.01±0.15
HCP-4	14.25±0.64	77.23±2.51	0.19±0.02	5.65±0.76	6.65±0.38

由表 1 可知,经计算巢脾多糖中总糖含量为 75 g/100 g 左右,糖醛酸含量在 0.2 g/100 g 左右,各分子量段差异不大。蛋白质含量随着分子量的增大而增高,这是由于多糖的糖链常与肽链结合,形成糖肽或糖蛋白,增加了多糖的分子量。而还原糖含量则随着分子量的增大而减小,说明多次超滤,有效地降低了单双糖的含量。各分子量段巢脾多糖 pH 值在 7 左右,属于

中性多糖。多糖溶于水是其发挥生物学活性的首要条件^[2],定性检测结果显示,各级别 HCP 不含淀粉及多酚类物质,可溶于水、稀酸及稀碱,不溶于乙醇、丙酮、乙酸乙酯等有机溶液。

本试验以 12 种常见单糖作标准品,采用柱前衍生化法对蜜蜂巢脾多糖中的单糖组成进行分析。分析结果如表 2 所示。

表 2 不同分子量段巢脾多糖的单糖组成

Table 2 Monosaccharide composition of comb polysaccharide with different molecular weights

名称	保留时间/min	HCP-1 含量/(mg/L)	HCP-2 含量/(mg/L)	HCP-3 含量/(mg/L)	HCP-4 含量/(mg/L)
甘露糖	16.216	4.467 68	102.825 83	35.862 13	24.564 33
氨基葡萄糖	21.265	-	27.657 35	-	-
核糖	21.996	-	38.014 53	26.463 15	25.242 41
鼠李糖	22.434	10.151 55	-	153.827 65	124.087 38
葡萄糖醛酸	27.000	18.180 08	160.662 72	65.262 44	70.825 77
半乳糖醛酸	30.601	53.322 60	-	126.861 38	-
氨基半乳糖	33.452	41.243 17	-	-	61.624 62
葡萄糖	36.613	-	-	33.675 50	40.508 41
半乳糖	41.914	-	-	-	-
木糖	43.566	-	-	453.020 23	380.886 08
阿拉伯糖	45.615	-	-	451.302 37	384.798 58
岩藻糖	52.112	-	-	-	-

注:-表示未检测到。

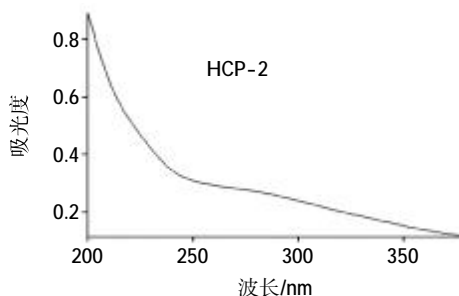
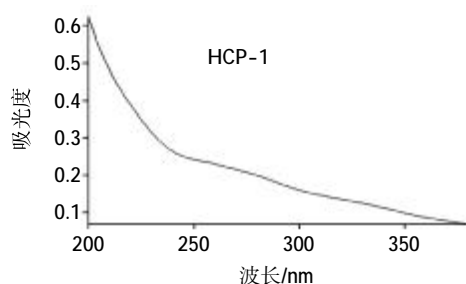
由表 2 可知,不同级别多糖均含有甘露糖、葡萄糖醛酸,各分子量段单糖组成及含量差异较大。HCP-1 中含鼠李糖、半乳糖醛酸、氨基半乳糖;HCP-2 中含氨基葡萄糖、核糖;HCP-3 中含核糖、鼠李糖、半乳糖醛酸、葡萄糖、木糖、阿拉伯糖;HCP-4 中含核糖、鼠李糖、氨基半乳糖、葡萄糖、木糖、阿拉伯糖。本研究中各

HCP 的单糖组成差异较大,有研究结果显示多糖生物学活性受其主链糖单元组成影响较大^[14-15],提示各分子量段生物学活性差异可能与其单糖组成有关。

2.1.2 光谱分析

紫外光谱扫描结果见图 1。

由图 1 可知,各分子量段巢脾多糖峰型特征一



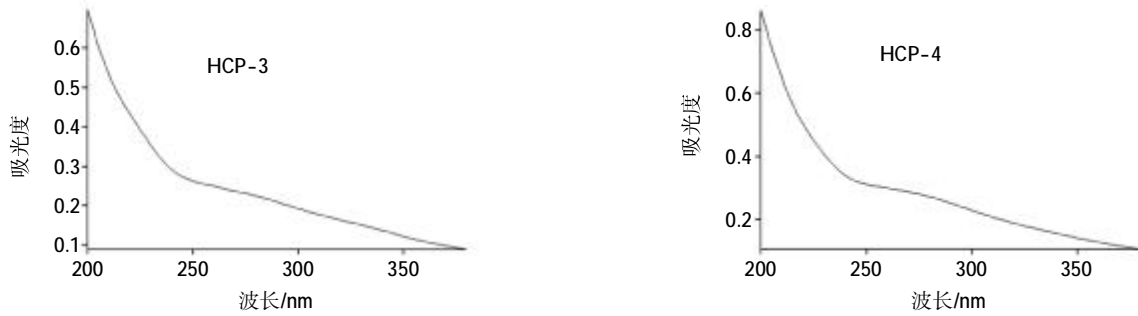


图 1 不同分子量段巢脾多糖的紫外光谱图

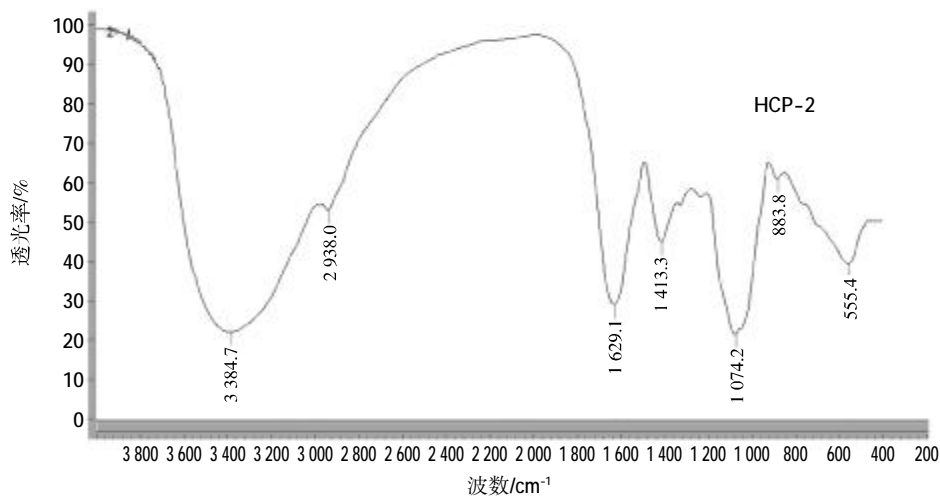
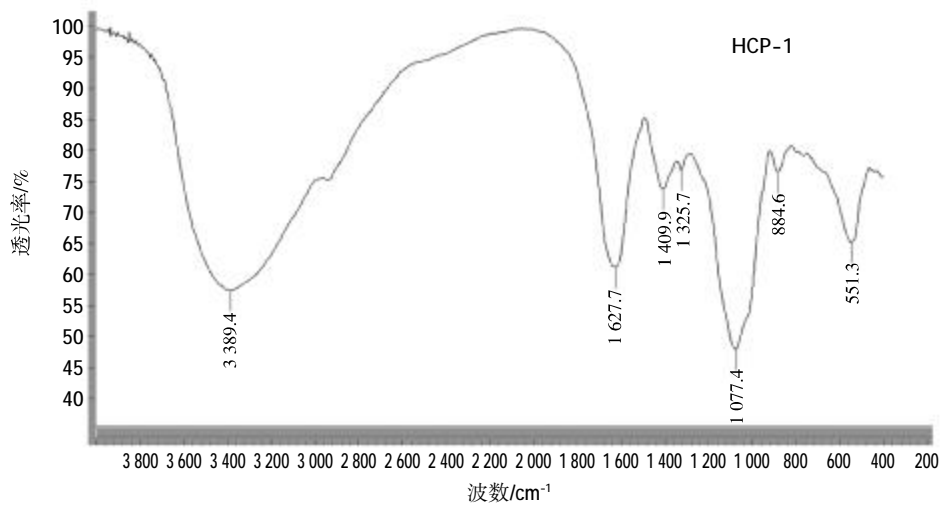
Fig.1 UV absorption spectra of comb polysaccharide with different molecular weights

致,在波长 380 nm~190 nm 中,各分子量未出现明显的特征吸收峰,吸光度值随着波长的缩短而增大,直至 190 nm 处出现最大吸收值。

红外光谱是研究聚合物结构和化学键,表征或鉴别不同化合物的常用手段之一,具有高度的特征性,是一种有效研究分子官能团特征的手段。各分子量段巢脾多糖的红外光谱图如图 2 所示。

图 2 结果显示各分子量段巢脾多糖皆具有典型的

多糖特征吸收峰 ($3\ 387.3$ 、 $2\ 934.4$ 、 $1\ 413.4$ 、 $772.3\ \text{cm}^{-1}$),且峰型基本一致^[6]。在 $3\ 387.3\ \text{cm}^{-1}$ 处出现的宽峰为分子间和分子内羟基(O-H)伸缩振动特征峰^[7], $2\ 934.4\ \text{cm}^{-1}$ 处吸峰收为糖链中饱和甲基或亚甲基(C-H)伸缩振动峰^[8], $1\ 413.4\ \text{cm}^{-1}$ 处吸收峰为 N-H 的变角振动峰, $772.3\ \text{cm}^{-1}$ 处吸收峰为 C-X 伸缩振动^[9]。此外, $1\ 630.2\ \text{cm}^{-1}$ 处吸峰收为 C=O 伸缩振动峰,表明该多糖为糖蛋白缀合物^[20-21]。而在 $1700\ \text{cm}^{-1}$ ~ $1\ 775\ \text{cm}^{-1}$ 范围



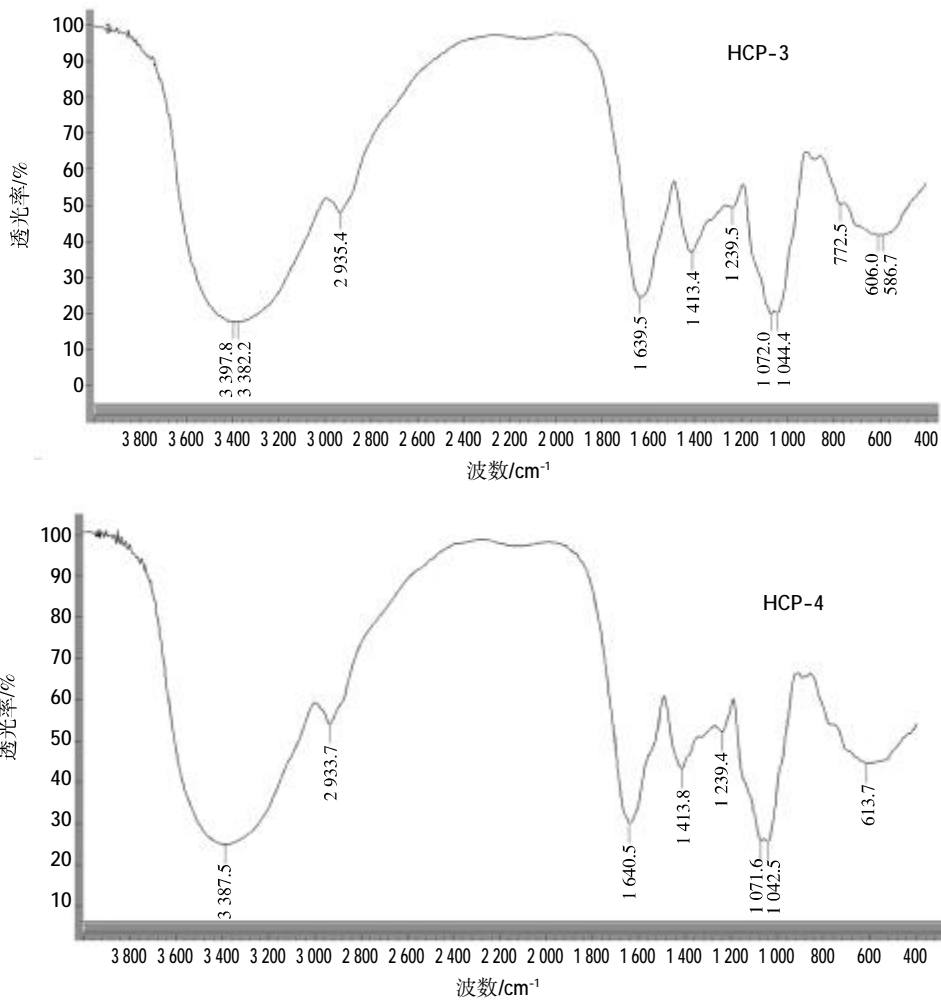


图2 巢脾多糖的红外光谱图

Fig.2 Infrared spectra of comb polysaccharide with different molecular weights

内无明显吸收峰,表明样品中不含羧基,即该多糖是一种中性糖^[9],这与 pH 值检测结果一致。1 075.9 cm⁻¹处吸收峰可能是吡喃糖环的特征吸收峰^[9],891.3 cm⁻¹处有吸收说明该多糖存在 β 型吡喃糖苷^[10]。由于多糖的结构具有一定的相似性,所以多糖的红外光谱具有某些相同的特征吸收峰。通过对一些特征峰的分析,可对多糖结构中是否含有这些残基或大致结构类型进行判断。试验结果显示,各分子量段红外光谱特征吸收峰基本一致,说明其所含残基大致相同。

2.2 不同分子量段蜜蜂巢脾多糖的抗氧化活性

2.2.1 不同分子量段巢脾多糖对羟自由基的清除作用

不同分子量段巢脾多糖对羟自由基的清除能力如图 3 所示。

由图 3 可知,在所选浓度范围内,所有分子量段的巢脾多糖清除能力随浓度的增大而增大,在浓度为 30 mg/mL 时,HCP-4 对羟自由基的清除能力达到最高 80.80 U/mL。总体而言,各分子量段巢脾多糖对羟自由

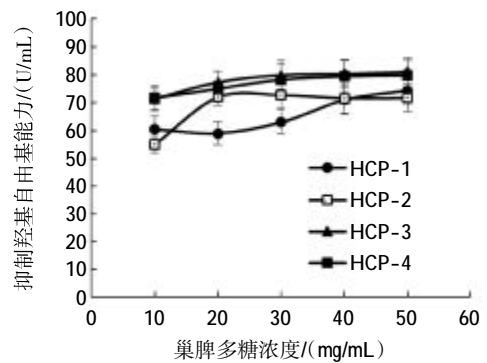


图3 不同分子量巢脾多糖对羟自由基的清除能力

Fig.3 Scavenging activities of comb polysaccharide with different molecular weights against alkyl free radicals

基都具有较强的清除能力,其中 HCP-3 及 HCP-4 效果最好。

2.2.2 不同分子量段巢脾多糖对超氧自由基的清除作用

不同分子量段巢脾多糖对超氧自由基的清除能

力如图4所示。

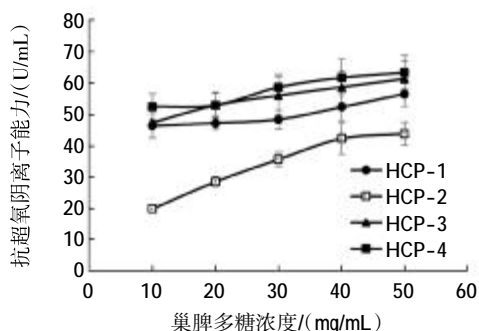


图4 不同分子量巢脾多糖对超氧自由基的清除能力

Fig.4 Scavenging activities of comb polysaccharide with different molecular weights against hydroxyl free radicals

由图4可知,各分子量段巢脾多糖均具有清除超氧自由基的能力,在一定范围内,抑制率与多糖浓度呈量效关系。其中HCP-3及HCP-4对超氧自由基的清除能力优于HCP-1及HCP-2,在浓度为50 mg/mL时,HCP-4对羟自由基的清除能力达到最高63.40 U/mL。

2.2.3 不同分子量段巢脾多糖对总抗氧化能力的测定

不同分子量段巢脾多糖总抗氧化能力(TOA)如图5所示。

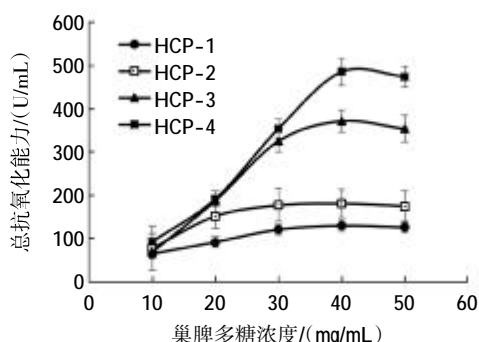


图5 不同分子量巢脾多糖对总抗氧化能力的测定

Fig.5 Total antioxidant capacity of comb polysaccharide with different molecular weights

由图5可知,在一定浓度范围内,各级分子量多糖TOA与多糖浓度呈量效关系。当多糖浓度达到40 mg/mL时,各级分子量多糖的TOA达到最高,其中HCP-4总抗氧化能力最高为486.23 U/mL,且HCP-4总抗氧化能力明显高于其它分子量多糖。

3 结论

本试验采用4个不同截留分子量的超滤膜,对巢脾多糖进行分级分离,获得分子量为4 kDa~10 kDa (HCP-1)、10 kDa~50 kDa (HCP-2)、50 kDa~100 kDa (HCP-3),大于100 kDa (HCP-4)4个不同分子量段的

巢脾多糖,并对不同分子量段巢脾多糖的理化性质和抗氧化活性进行分析。结果显示巢脾多糖中总糖含量为75 g/100 g左右,糖醛酸含量在0.2 g/100 g左右,各分子量段差异不大。蛋白质含量随着分子量的增大而增高,还原糖含量则随着分子量的增大而减小。各分子量段巢脾多糖pH值在7左右,属于中性多糖。定性检测结果显示,各分子量段多糖不含淀粉及多酚类物质,可溶于水、稀酸及稀碱,不溶于乙醇、丙酮、乙酸乙酯等有机溶液。各分子量段巢脾多糖紫外及红外光谱特征相似,而单糖组成及含量差异较大,HCP-3及HCP-4中单糖种类及含量相比于HCP-1及HCP-2都较为丰富。体外抗氧化活性分析结果显示,在一定浓度范围内,各分子量段多糖对超氧自由基、羟自由基清除能力及总抗氧化能力与多糖浓度呈明显的量效关系,总体而言,HCP-4的抗氧化活性最强,这是否与HCP-4的单糖组成丰富相关,还需要进一步探讨。本研究为巢脾多糖的构效关系研究及活性成分的有效开发利用提供了理论基础。

参考文献:

- 匡邦玉,匡海鸥. 蜜蜂生物学[M]. 昆明: 云南科学技术出版社, 2003: 140-141
- 褚亚芳. 蜜蜂巢脾抗氧化、抑菌和抗炎活性以及抗生素残留研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2010: 1-3
- 闫亚美. 蜜蜂巢脾挥发油及其治疗AR的药效学研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2007: 1-18
- 国家药典委员会. 中国药典[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005: 614
- 赵红霞, 黄文忠, 陈华生, 等. 蜜蜂巢脾提取物对小鼠免疫调节作用的影响[J]. 天然产物研究与开发, 2016, 28(1): 125-130
- 朱俊彦, 喻庆禄, 邓必麟, 等. 蜂巢药效学研究[J]. 时珍国医国药, 1999, 10(3): 168-169
- LI JW, LIU YF, FAN LP, et al. Antioxidant activities of polysaccharides from the fruiting bodies of *Zizyphus Jujuba* cv. *Jinsixiaozao*[J]. Carbohydrate Polymers, 2011, 84(1): 390-394
- HUANG F, ZHANG R, YI Y, et al. Comparison of physicochemical properties and immunomodulatory activity of polysaccharides from fresh and dried litchi pulp[J]. Molecules, 2014, 4: 3909-3925
- 于美汇, 赵鑫, 尹红力, 等. 碱提醇沉黑木耳多糖体外和体内降血脂功能[J]. 食品科学, 2017, 38(1): 232-237
- 王恒禹, 刘明, 姜猛, 等. 多糖在食品工业中的应用现状[J]. 食品科学, 2013, 34(21): 431-438
- 张淑杰, 康玉凡. 天然活性多糖研究进展[J]. 食品工业科技, 2017, 38(2): 379-382
- 王兆梅, 李琳, 郭祀远, 等. 活性多糖构效关系研究评述[J]. 现代化工, 2002, 22(8): 18-21
- 黄菲, 郭亚娟, 张瑞芬, 等. 不同干制方式的荔枝多糖理化特性和抗氧化活性比较[J]. 中国食品学报, 2016, 16(3): 212-218

DOI: 10.3969/j.issn.1005-6521.2018.04.002

多酚黄酮物质对晚期糖基化终产物的抑制研究

周凯文,陈晓默,刘慧琳*,王静

(北京食品营养与人类健康高精尖创新中心,北京市食品添加剂工程技术研究中心,北京工商大学,北京 100048)

摘要: 研究多酚黄酮类化合物对食品加工模拟体系中晚期糖基化终产物(Advanced glycation end products, AGEs)的抑制影响。构建了牛血清白蛋白-葡萄糖模拟体系,研究多酚黄酮类化合物对AGEs的荧光产物和非荧光产物羧甲基赖氨酸(N^ε-carboxymethyllysine, CML)的抑制效果。通过研究不同的多酚黄酮类化合物对甲基乙二醛(methylglyoxal, MGO)的加合试验进一步探究抑制机理。结果表明,除阳性对照组氨基胍外,茶多酚和木犀草素对AGEs的荧光产物和CML的抑制较其他抑制剂的效果好,茶多酚和木犀草素对AGEs的荧光产物的抑制率为68.52%和61.19%,对非荧光产物CML的抑制率为13.67%、16.52%。通过多酚黄酮类化合物对活性二羧基化合物MGO的捕获试验,推测出可以与MGO发生加和反应的结构通式,初步阐述多酚黄酮类化合物对AGEs的抑制机理。

关键词: 晚期糖基化终产物;多酚黄酮化合物;模拟体系;甲基乙二醛;抑制机理

The Inhibition Effects of Polyphenols and Flavonoids on Advanced Glycation End Products

ZHOU Kai-wen, CHEN Xiao-mo, LIU Hui-lin*, WANG Jing

(Beijing Advanced Innovation Center for Food Nutrition and Human Health, Beijing Engineering and Technology Research Center of Food Additives, Beijing Technology & Business University (BTBU), Beijing 100048, China)

Abstract: The inhibition effects of polyphenols and flavonoids on the advanced glycation end products (AGEs) in food processing system were studied. The bovine serum albumin-glucose simulation system was constructed to study the inhibition effects of polyphenols and flavonoids on the fluorescent products and the non-fluorescent products (N^ε-carboxymethyllysine, CML) of AGEs. The inhibition mechanism was further studied by the adduction between the polyphenols and flavonoids and methylglyoxal (MGO). The results show that the inhibi-

基金项目:国家自然科学基金面上项目(31571940)

作者简介:周凯文(1992—),男(汉),实验员,硕士,研究方向:食品安全。

* 通信作者:刘慧琳(1987—),女(汉),副教授,博士,研究方向:食品安全。

- [14] OLAFSDOTTIR ES, INGOLFSDOTTIR K. Polysaccharides from lichens: structural characteristics and biological activity[J]. *Planta medica*, 2001, 67(3): 199-208
- [15] RIZKOVA L, DURACKOVA Z, SANDULA J, et al. Anti-oxidative and anti-muta-genic activity of yeast cell wall mannans in vitro[J]. *Mutation Research-Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*, 2001, 497(1/2): 213-222
- [16] JIAX, ZHANG C, QIU J, et al. Purification, structural characterization and anticancer activity of the novel polysaccharides from *Rhynchosia minima* root[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2015, 132(5): 67-71
- [17] 李彬,陈向楠,张建法,等.产胞外多糖菌株的筛选及胞外多糖结构分析[J]. *生物技术通报*, 2016, 32(5): 165-171
- [18] 韩丽荣,程代,土莉蕊,等.灰树花胞外多糖的结构及免疫调节活性团[J]. *生物工程学报*, 2016, 32(5): 648-656
- [19] CAI W, XU H, XIE L, et al. Purification, characterization and in vitro anticoagulant activity of polysaccharides from *Gentiana scabra* Bunge roots[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2016, 140(20): 308-313
- [20] 梅光明,郝强,张小军,等.酸提香菇多糖的分离纯化及结构鉴定[J]. *现代食品科技*, 2014, 30(9): 79-84
- [21] CHAI Y, ZHAO M. Purification, characterization and anti-proliferation activities of polysaccharides extracted from *Viscum coloratum* (Kom.) Nakai[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2016, 149(20): 121-130

收稿日期:2017-08-11