

中药优化生物保鲜剂的制备及其活性成分分析

林大成^{1,2,3}, 张玲玲¹, 张自然^{1,2,3}, 谭柳思¹

1. 北部湾大学 食品工程学院, 广西 钦州 535011

2. 北部湾大学 广西高校北部湾特色海产品资源开发与高值化利用重点实验室, 广西 钦州 535011

3. 北部湾大学 钦州市特色果蔬发酵重点实验室, 广西 钦州 535011

摘要:为创新生物保鲜剂的制备并强化其活性成分的抗氧化功能,利用中药优化乳酸菌发酵醇沉组分以开发生物保鲜剂,并分析其活性成分与抗氧化功能。在单因素试验的基础上采用正交试验优化乳酸菌发酵醇沉组分的工艺条件,再利用酸水解醇沉组分以分析活性成分,并测定其DPPH自由基清除能力与多酚含量。结果显示:中药添加量3%、菌种添加量14%、发酵时间12 h为最优工艺组合,具有最高的醇沉组分产量与产率,分别为(1 188±35) mg/L、(46.6±1.3)%,其活性成分主要为蛋白多糖,且随着蛋白多糖浓度的增加,总酚含量增加,DPPH自由基清除能力也随之增强,最高可达(83.0±3.0)%。此活性成分中总酚含量与DPPH清除能力有良好的正相关性,可为生物保鲜剂的开发利用提供理论依据。

关键词:中药;生物保鲜剂;乳酸菌;蛋白多糖

中图分类号:TS202.3

文献标志码:B

文章编号:1673-2383(2020)05-0085-06

DOI:10.16433/j.1673-2383.2020.05.014

Preparation of biological preservative optimized by Chinese herbal medicine and analysis of bioactive components

LIN Dacheng^{1,2,3}, ZHANG Lingling¹, ZHANG Ziran^{1,2,3}, TAN Liusi¹

1. College of Food Engineering, Beibu Gulf University, Qinzhou 535011, China

2. Guangxi Colleges and University Key Laboratory of Development and High-value Utilization of Beibu Gulf Seafood Resources, Beibu Gulf University, Qinzhou 535011, China

3. Qinzhou Key Laboratory of Characteristic Fruits and Vegetables Fermentation, Beibu Gulf University, Qinzhou 535011, China

Abstract: To develop biological preservatives and strengthen the antioxidant functions of the active components, the ethanol precipitated component (EPC) obtained by *Lactobacillus* fermentation was optimized by using the Chinese herbal medicine, and the active components and antioxidant function of EPC were analyzed. Based on single factor analysis, orthogonal experiments were used to optimize the EPC preparation technology of *Lactobacillus* fermentation, and then the active components of EPC were analyzed by acid hydrolysis and DPPH free radical scavenging capacity and total phenolic content of EPC were determined. The results showed that the optimal preparation combination was: 3% of Chinese herbal medicine, 14% of bacteria inoculations, and 12 hours of fermentation time. The maximum production and yield of EPC were (1 188±35) mg/L and (46.6±1.3)%, respectively. The main active component of EPC was proteoglycan. With the increase of proteoglycan concentration, the total phenolic content and DPPH scavenging capacity increased to the maximum of (83.0±3.0)%. Therefore, the total phenolic content in the active components had good positive correlation with DPPH free radical scavenging capacity, which could provide

收稿日期:2020-04-10

基金项目:北部湾大学高层次人才引进计划项目“利用中草药促进乳酸菌发酵多糖蛋白开发水产品抑菌防腐保鲜制剂”(2017KYQD224)

作者简介:林大成(1960—),男,中国台湾高雄人,教授,研究方向为食品微生物制剂与功能应用,E-mail:2082135496@qq.com。

theoretical basis for the development and utilization of biological preservatives.

Key words: Chinese herbal medicine; biological preservatives; lactic acid bacteria; proteoglycans

随着国民经济和社会发展水平的提高,人们对食品的质量要求越来越高,食品防腐保鲜成为重要的研究课题之一。生物防腐剂取代化学防腐剂是目前与未来食品质量保鲜的发展趋势。为了开发食品保鲜剂,近年来国内外不少研究者对微生物在食品保鲜领域的应用进行了研究,其中乳酸菌保鲜相对于传统的化学保鲜、低温保鲜、辐照保鲜和气调保鲜,具有安全、高效和低成本等特点^[1]。目前,乳酸菌主要应用于乳制品和蔬菜水果的保鲜,而很少应用于水产品的保鲜。此外,乳酸菌保鲜多采用其乙醇提取物部分^[2-3],对剩余醇沉成分的功效却鲜有报道。研究发现,乳酸菌发酵过程中将糖转化为有机酸、胞外多糖、醇类甚至乳链球菌素(Nisin)和过氧化氢等物质,这些物质可有效抑制有害菌的繁殖,从而提高食品的保藏性能^[4-5]。水产品易腐败最难保鲜,其中鲜蚝营养丰富,素有水产牛奶之称,而广西钦州盛产鲜蚝,故可作为水产品保鲜试验的典型代表。

枸杞、红景天及绿藻因含有丰富的营养物质如多糖、蛋白、多酚和黄酮类物质,已引起国内外学者的关注。枸杞具有提高免疫力、抗衰老、抗肿瘤等功能,其中的主要功效成分为枸杞多糖^[6]。枸杞多糖多采用热水浸提然后乙醇沉淀,或采用微生物发酵法提取^[7]。红景天具有抗氧化和抗疲劳等多种生理功能,其主要活性成分为红景天苷与昔元酪醇^[8-9]。绿藻主要活性成分为多糖与生物活性生长因子,具有抗氧化、增强人体免疫功能等功效^[10]。由于目前生物保鲜剂的制备量偏少,效果不彰,应用不广,因此,企待创新方法,提升产量,彰显效果,以因应绿色食品的潮流趋势。作者采用枸杞、红景天和绿藻组成的中药制剂促进乳酸菌发酵,以提升发酵液中醇沉组分(蛋白多糖)的提取量并强化其中活性成分的功能,以期对中药优化生物保鲜剂的制备与功能研究提供理论支持。

1 材料与方 法

1.1 材料与试剂

鲜蚝:钦州市海华蚝业科技开发有限公司;中药制剂(枸杞、红景天、绿藻):台湾中药厂与食品公司;混合乳酸菌种(嗜酸乳杆菌、德氏乳杆菌

保加利亚亚种、嗜热链球菌):杭州娃哈哈集团有限公司;MRS肉汤培养基、MRS琼脂培养基:杭州百思生物技术有限公司。1,1-二苯基-2-苦肟基自由基(DPPH, Sigma):西安热默尔生物科技有限公司;95%乙醇、抗坏血酸、苯酚、葡萄糖、没食子酸和Folin-Ciocalteu试剂等均为分析纯。

1.2 仪器与设备

Evolution 201 & 220 紫外-可见光分光光度计:上海谱祥科学仪器有限公司;TG16 MW 台式高速离心机:湖南赫西仪器装备有限公司;KTNK-80 冷冻干燥机:上海乔枫实业有限公司。

1.3 试验设计

以 MRS 培养基添加经蒸煮提炼的中药浓缩液(1%, $V_{\text{山药}}:V_{\text{枸杞}}:V_{\text{红景天}}=1:1:1$)培养混合乳酸菌(1%, $V_{\text{嗜酸乳杆菌}}:V_{\text{德氏乳杆菌保加利亚亚种}}:V_{\text{嗜热链球菌}}=1:1:1$)作为试验组(EX),以不添加中药仅加乳酸菌发酵为控制组(CL)和单纯鲜蚝汁为对照组(BK)进行抗氧化功能评估。抗氧化功能以 DPPH 自由基清除能力为指标,并测定总酚含量,以阐述抗氧化的机理。

1.4 有效成分的提取与分析

将 EX 与 CL 两组试验的发酵液静置于冰箱 3 h 后,离心(6 000 g, 15 min),取沉淀物于烘箱中烘干(105 °C, 72 h),恒质量后即得菌体质量。离心后的上清液经减压浓缩至 1/3 体积后加入 3 倍等体积的乙醇(95%),4 °C 静置 24 h,取沉淀物,冷冻干燥,即得粗醇沉组分(Ethanol precipitated component, EPC),称质量得 EPC 产量;EPC 产率为 EPC 干质量与菌体干质量的比值。进一步将所得粗 EPC 经 3 次循环的分子质量(18~20 kD)透析纯化,冷冻干燥得纯 EPC。并经巴氏灭菌法(65 °C, 30 min)灭酶杀菌,再利用酸水解纯 EPC 并分别测定水解前后蛋白质和多糖含量及纯 EPC 质量,纯 EPC 组成为背景组(BG)。同法进行纯鲜蚝汁的测定作为对照组(BK)。蛋白质和多糖的总回收率: $[(\text{蛋白质} + \text{多糖}) / \text{纯 EPC}] \times 100\%$ 。纯 EPC 的回收率: $(\text{纯 EPC} / \text{粗 EPC}) \times 100\%$ 。蛋白质测定采用考马斯亮蓝法^[11],多糖测定采用总糖苯酚硫酸法^[12]。

1.5 单因素试验和正交试验

单因素试验主要考察中药添加量(1%、2%、3%、4%、5%)、菌种添加量(6%、8%、10%、12%、

14%) 及发酵时间(4、6、8、10、12 h)对 EPC 产量的影响。根据单因素试验结果,以 EPC 产量为评价指标,进行三因素三水平 $L_9(3^3)$ 的正交优化试验。

1.6 抗氧化试验

所有试验所用 EPC 质量浓度均为 10 mg/mL,对 EPC 抗氧化能力的评估主要是测定 DPPH 自由基清除能力与总酚含量。DPPH 清除能力测定:参考文献[13]的方法。总酚含量测定:采用 Folin-Ciocalteu 法,参考 Gao 等^[14]的方法。

1.7 数据处理

每组试验重复 3 次,所有数据采用 Duncan 法 ($P < 0.05$) 进行差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 醇沉组分制备单因素试验

2.1.1 中药添加量对醇沉组分产量的影响

中药添加量对 EPC 产量的影响如图 1(a) 所示。随着中药添加量的增加,EPC 的产量呈先上升后下降的趋势。当中药添加量为 3% 时,EPC 的产量最高,为 (986 ± 13) mg/L,与其他添加量的产量相比具有显著差异 ($P < 0.05$),此时乳酸菌的生长最稳定,发酵作用最旺盛,最适合 EPC 的生产。当中药添加量高于 3% 时,底物抑制现象将不利于乳酸菌的生长繁殖,从而造成发酵液中 EPC 含量降低,故最适中药添加量为 3% 左右。中药的添加可影响乳酸菌的发酵作用,提供发酵生产 EPC 的刺激因子,强化乳酸菌的生长并激发酶类的生化反应^[10]。林大成等^[13]研究发现,中草药(红曲、山药和芦荟,1.0%)的添加对乳酸菌发酵产物中胞外多糖的产量和产率均有促进作用。

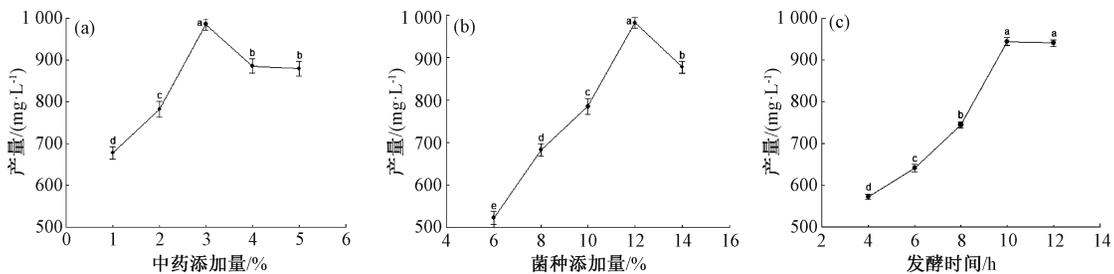
2.1.2 菌种添加量对醇沉组分产量的影响

菌种添加量对 EPC 产量的影响如图 1(b) 所

示。菌种添加量为 6% ~ 12% 时,添加量与 EPC 产量呈正相关。开始阶段,发酵液中营养物质丰富,接种量越大,代谢产物含量越高,越有利于中药制剂的多糖等醇沉组分的溶出,即菌种添加量的增加有利于 EPC 的生产;但当菌种量超过 12% 时,则会出现微生物量过多而导致底物不足,一部分菌体在竞争中死亡,从而造成 EPC 产量降低,故最适菌种添加量为 12% 左右,此时产量最高,为 (982 ± 13) mg/L,与其他添加量的产量相比具有显著差异 ($P < 0.05$)。郑苗等^[15]研究发现,添加怀山药的乳酸菌发酵液中主要产物乳酸随着接种量的增加呈现先上升而后平稳的趋势。因此,本研究中当菌种量超过 12% 时,随着菌种竞争使代谢产酸能力下降,蛋白和多糖等醇沉组分的溶出也随之减少;另外在底物不足时,中草药中的一些刺激因子也随之减少,降低乳酸菌多糖等醇沉组分的生成,从而导致最终 EPC 产量降低,此先上升后下降的变化趋势与文献[13]报道的一致。

2.1.3 发酵时间对醇沉组分产量的影响

发酵液中 EPC 的产量随着发酵时间延长呈先增加而后趋于稳定的趋势,如图 1(c) 所示。4 ~ 10 h 内发酵液的营养物质丰富,乳酸菌快速生长,产生大量的乳酸和酶类,乳酸促使中药中的蛋白质、多糖以及多酚等活性成分不断溶出,导致 EPC 产量快速增加;10 h 后随着发酵时间的延长,乳酸增加速度减慢,蛋白、多糖等成分的溶出也随之减少;而乳酸菌数量的增加造成溶出的碳源和氮源被迅速分解,导致发酵液中 EPC 的产量趋于稳定^[16]。故从经济性考虑,最适发酵时间为 10 h 左右,此时 EPC 产量最高,为 (889 ± 19) mg/L,除 12 h 外与其他发酵时间的产量相比具有显著差异 ($P < 0.05$)。研究发现添加枸杞、红景天等中药的乳酸菌发酵液中含有酶类(胞内酶和胞外酶)、



注:不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。(a)、(b)、(c)分别为中药添加量、菌种添加量、发酵时间对 EPC 产量的影响。

图 1 单因素试验对 EPC 产量的影响

Fig. 1 Effects of factors on EPC yield in single factor test

粗多糖、蛋白质及总酚类成分^[17-18]。

2.2 醇沉组分制备的正交试验

正交试验结果如表1所示。各因素对EPC产量影响的顺序为 $A>C>B$,即中药添加量对EPC产量影响最大,发酵时间次之,菌种添加量的影响最小。复合乳酸菌发酵怀山药工艺研究也证实发酵时间对代谢产物的影响大于接种量^[15]。最优组合为 $A_2B_3C_3$,即中药添加量3%,菌种添加量14%,发酵时间12h。适当的菌种添加量可稍微促进乳酸菌EPC的生产,充足的发酵时间比菌种添加量更能促进乳酸菌发酵产生EPC,适当的中药添加量可强化促进乳酸菌生产EPC^[19],但过量的中药则会抑制EPC的生产。

表1 正交试验结果与分析

Table 1 Results and analysis of orthogonal experiments

试验号	A 中药添加量/%	B 菌种添加量/%	C 发酵时间/h	EPC 产量/(mg·L ⁻¹)
1	2	10	8	485±17
2	2	12	10	528±16
3	2	14	12	787±18
4	3	10	10	1 018±22
5	3	12	12	1 184±40
6	3	14	8	956±16
7	4	10	12	784±15
8	4	12	8	667±24
9	4	14	10	485±23
k_1	600	762	703	
k_2	1 053	793	811	
k_3	779	876	918	
R	453	114	215	

2.3 验证试验结果与分析

因正交试验最优组合不在正交试验表中,故进行验证和对比试验,结果如表2所示。中药制剂发酵液中EPC产量为(1 188±35) mg/L,与正交试验第5组的结果大致符合,证明该正交试验重现性良好。添加中药的试验组与不添加中药的控制组、纯新鲜蚝汁的对照组相比,具有显著较高的EPC产量及产率($P<0.05$)。EPC产量与产率的高低为试验组>控制组>对照组,此现象显示乳酸菌的生长量与EPC产量及产率呈正相关,可初步说明试验所用中药制剂对EPC产量有促进作用。本试验结果与文献报道一致^[6, 8, 20]。研究发现,红景天和轮叶党参混合提取物可促进乳

酸菌的生长,并提高发酵液蛋白质、多糖和多酚的含量^[8]。枸杞提取物也可促进微生物发酵液中胞外多糖的产量^[20]。

表2 验证与对比试验结果

Table 2 Verification and comparison test results

试验	生长量/(mg·L ⁻¹)	EPC 产量/(mg·L ⁻¹)	EPC 产率/%
试验组(EX)	2 553±48 ^a	1 188±35 ^a	46.6±1.3 ^a
控制组(CL)	1 869±31 ^b	663±37 ^b	35.5±2.0 ^b
对照组(BK)	1 236±22 ^c	381±23 ^c	30.8±2.4 ^c

注:不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。表3同。

2.4 醇沉组分中主要活性成分分析

目前利用微生物发酵制得的绿色生物产品,已有作为抗氧化保健食品与蔬菜抗病毒预防的应用报道,研究其活性成分为蛋白多糖^[21-22]。将本研究的粗EPC再进一步透析纯化,所得约90.5%纯EPC并分析其主要组成,如表3所示,纯蛋白多糖中蛋白质和多糖总和的回收率90.2%~92.5%;而蛋白质与多糖分别占纯蛋白多糖的比例为11.4%~12.2%与78.6%~79.3%,其中蛋白质含量与王贺等^[12]的研究结果类似。王贺等以Sevag法除去蛋白质和本研究经巴氏灭菌法灭酶钝化处理,二者成分皆无活性功能,因此,推断EPC中蛋白质可能为非主要活性成分^[12]。

表3 蛋白多糖中的主要活性成分

Table 3 Main active components in proteoglycan

试验组号	蛋白质含量/(mg·L ⁻¹)	多糖含量/(mg·L ⁻¹)	纯蛋白多糖含量/(mg·L ⁻¹)	总酚含量/(mg·g ⁻¹)
BG	16±5 ^d	27±5 ^d	1 065±4 ^a	26.2±0.6 ^a
EX	122±4 ^a	847±3 ^a	1 072±12 ^a	26.5±0.5 ^a
CL	75±7 ^b	486±8 ^b	613±6 ^b	15.2±0.5 ^b
BK	41±6 ^c	272±5 ^c	346±8 ^c	8.2±0.6 ^c

由表3可知,试验组(EX)的蛋白质、多糖含量、纯蛋白多糖及总酚含量都显著高于控制组(CL)和对照组(BK)($P<0.05$)。可知试验组的中药乳酸菌配方组合较能提高EPC的产量,效果优于未添加中药乳酸菌的控制组。比较背景组(BG)与试验组酸水解EPC前后的组成,显示纯EPC质量与总酚含量二者并无显著差异($P>0.05$),可知醇沉组分EPC由蛋白质与多糖共价构成的蛋白多糖(proteoglycan, PG)或多糖蛋白(Glycoprotein, GP)^[12, 16]。图2为蛋白多糖质量浓度对总酚含量和DPPH自由基清除率的影响,

表 3 与图 2 显示总酚含量与蛋白多糖质量浓度呈正相关,且 DPPH 自由基清除能力也随蛋白多糖质量浓度增加而增强;而纯 EPC 中蛋白活性已经巴氏杀菌法灭酶钝化^[12,19],故可初步推断 EPC 是以蛋白修饰多糖为主体的蛋白多糖,而非以多糖修饰蛋白为主体的多糖蛋白。

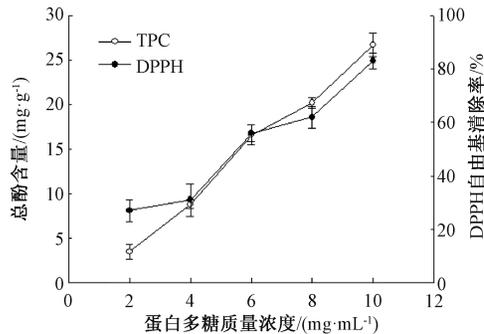


图 2 蛋白多糖质量浓度对总酚含量和 DPPH 自由基清除率的影响

Fig. 2 Effect of proteoglycan mass concentration on TPC and DPPH scavenging capacity

2.5 中药优化蛋白多糖的活性分析

由图 2 可知,多酚含量与 DPPH 自由基清除能力随蛋白多糖质量浓度增加而增强;且总酚含量与抗氧化活性呈正相关,此与朱秀灵等^[23]的研究结果符合。另外王丽霞等^[24]以 Sevag 法除去山药蛋白多糖体的游离蛋白质,得到结合蛋白质含量为 13.98%,与本研究的蛋白多糖含量相当;而其体外抗氧化能力与蛋白多糖质量浓度呈正相关性,也与本研究结果相符。综合文献结果,前人研究胞外多糖中蛋白质与多糖比例分别为 2.2%~10.71%与 68.1%~78.56%^[25-26]。本研究的纯蛋白多糖中二者比例分别为 11.4%~12.2%与 78.6%~79.3%,皆高于前人的研究;而前人研究胞外多糖质量浓度在 5~40 mg/mL 时对 DPPH 自由基清除率为 6.50%~75.0%,此时总酚含量为 0.52~18.96 mg/g^[27-28]。本研究纯蛋白多糖质量浓度在 2~10 mg/mL 时对 DPPH 自由基清除率为 27%~83%,此时总酚含量为 3.5~26.7 mg/g,也皆优于前人的研究结果。因此推论中药特殊成分可激活乳酸菌发酵生化反应中的酶系统,使原共价结合酚释出可溶性结合酚而增加总酚含量^[29-30],因而表现出较高的 DPPH 自由基清除率。故说明本研究以中药优化生物保鲜剂的活性成分具有显著效果。

3 结论

本研究利用中药促进乳酸菌发酵生产 EPC,以优化生物保鲜剂的制备工艺并分析其活性成分,显示最佳的 EPC 发酵工艺制备条件为中药添加量 3%、菌种添加量 14%、发酵时间 12 h,此时 EPC 产量和产率最高,分别为 (1 188±35) mg/L 与 (46.6±1.3)%。当 EPC 质量浓度为 10 mg/mL 时,其多酚含量为 (26.2±0.6) mg/g,对 DPPH 自由基清除率可达 (83.0±3.0)%。由于 EPC 主要活性成分为含多酚的蛋白多糖,且 DPPH 自由基清除能力随其质量浓度增加而增强,因此,初步推论 EPC 为含蛋白修饰的蛋白多糖。本研究的中药制剂可优化制备工艺,促进乳酸菌产生新颖优异的蛋白多糖,具有应用于水产食品保鲜的潜力。

参考文献:

- [1] 湛剑龙,胡萍,陈韵,等. 功能性乳酸菌的应用研究[J]. 食品安全质量检测学报,2014, 5(4):1002-1009.
- [2] 任艳芳,刘畅,何俊瑜,等. 基于中药乙醇提取物的柑橘采后保鲜与抑菌技术[J]. 农业机械学报,2012,43(5):122-129.
- [3] 廖珏,何军,王永宏,等. 不同中药提取物对西红柿果实采后保鲜活性及适宜浓度筛选[J]. 西北植物学报,2013,33(8):1682-1690.
- [4] 尹胜利,杜鉴,徐晨. 乳酸菌的研究现状及其应用[J]. 食品科技,2012,37(9):25-29.
- [5] LIANG X B, SUN Z Z, ZHONG J, et al. Adverse effect of nisin resistance protein on nisin-induced expression system in *Lactococcus lactis* [J]. Microbiological Research, 2010, 165(6):458-465.
- [6] 郭红莲,邢紫娟,余巧银,等. 天然枸杞酵素发酵的代谢产物分析[J]. 食品研究与开发, 2018,39(5):48-55.
- [7] 曹丽春,董亮,王伟,等. 酵母发酵法纯化枸杞多糖[J]. 食品工业科技, 2007, 28(3):114-116.
- [8] 姜国哲,全贞玉,金润浩,等. 红景天和轮

- 叶党参混合提取物戊糖乳杆菌发酵条件及抗氧化作用分析[J]. 食品科学, 2018, 39(2):124-130.
- [9] SUNG S K, RHEE Y K, CHO C W, et al. Physicochemical properties and antioxidative activity of fermented *Rhodiola sachalinensis* and Korean red ginseng mixture by *Lactobacillus acidophilus* [J]. Korean Journal of Food & Nutrition, 2013, 26(3):358-365.
- [10] 杜琨. 绿藻保健酱油生产工艺研究[J]. 中国调味品, 2010, 35(6):74-75.
- [11] OYAIZU M. Studies on product of browning reaction prepared from glucose amine [J]. Nutrition, 1986, 44(6):307-315.
- [12] 王贺, 宋文刚, 任婷, 等. 血红铆钉菇多糖分离纯化及抗氧化活性研究[J]. 北华大学学报(自然科学版), 2019, 20(1):64-67.
- [13] 林大成, 张帆, 陈群昌. 以中草药促进乳酸菌发酵胞外多糖的抗氧化功能[J]. 泉州师范学院学报, 2017, 35(2):45-52.
- [14] GAO X Q, OHLANDER M, JEPPSSON N, et al. Changes in antioxidant effects and their relationship to phytonutrients in fruits of sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) during maturation[J]. Journal of the Agricultural and Food Chemistry, 2000, 48:1485-1490.
- [15] 郑苗, 何佳, 吕丹丹, 等. 复合乳酸菌发酵怀山药工艺及其抗氧化活性[J]. 中国酿造, 2018, 37(2):106-110.
- [16] 白丽娟. 马奶酒中产胞外多糖瑞士乳杆菌的筛选及多糖的结构和抗氧化活性研究[D]. 沈阳:沈阳农业大学, 2017.
- [17] 赵丹, 李萌, 苏宁, 等. 枸杞发酵液的抗衰老活性和皮肤安全性研究[J]. 日用化学产品科学, 2016, 39(6):24-27.
- [18] 苏宁, 刘红梅, 刘娟, 等. 红景天发酵原浆化妆品的制备及其功效性和安全性研究[J]. 香料香精化妆品, 2017(2):44-48.
- [19] CHEN C Y, LIN T C, SHIEH Y M. Emulsification and antioxidation of biosurfactant extracts from Chinese medicinal herbs fermentation *in vitro* [J]. Journal of Bioscience and Bioengineering, 2015, 120(4):387-395.
- [20] LIN F Y, LAI Y K, YU H C, et al. Effects of *Lycium barbarum* extract on production and immunomodulatory activity of the extracellular polysaccharopeptides from submerged fermentation culture of *Coriolus versicolor* [J]. Food Chemistry, 2008, 110(2):446.
- [21] 张鑫, 张海悦, 李震, 等. 猴头菇蛋白多糖口含片的研制[J]. 食品研究与开发, 2016, 37(9):100-104.
- [22] 何永梅. 菇类蛋白多糖在蔬菜生产上的应用[J]. 农药市场信息, 2010(8):44.
- [23] 朱秀灵, 叶精勤, 盛伊健, 等. 体外模拟消化对苹果多酚及其抗氧化活性的影响[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(8):63-71.
- [24] 王丽霞, 刘安军, 舒媛, 等. 山药蛋白多糖体外抗氧化作用的研究[J]. 现代生物医学进展, 2008, 8(2):242-245.
- [25] 魏瑞芝, 奥文芳, 李克超, 等. 花生蛋白多糖的功能性质研究[J]. 食品科技, 2016, 41(5):202-207.
- [26] SEO B J, BAJPAI V K, RATHER I A, et al. Partially purified exopolysaccharide from *Lactobacillus plantarum* YML009 with total phenolic content, antioxidant and free radical scavenging efficacy [J]. Indian Journal of Pharmaceutical Education and Research, 2015, 49(4):282-292.
- [27] 王振帅, 曾秋烦, 信思悦, 等. 超声联合杀菌对火龙果汁品质及抗氧化性的影响[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(5):157-163.
- [28] 束文秀, 吴祖芳, 翁佩芳, 等. 植物乳杆菌和发酵乳杆菌对胡柚汁发酵品质及其抗氧化性的影响[J]. 食品科学, 2019, 40(2):152-158.
- [29] WANG B N, LIU H F, ZHENG J B, et al. Distribution of phenolic acids in different tissues of jujube and their antioxidant activity [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2011, 59(4):1288-1292.
- [30] 陈彩薇, 吴晖, 赖富饶, 等. 米糠中不同存在形态酚类物质的抗氧化活性研究[J]. 现代食品科技, 2015, 31(2):42-46.