

分子包埋技术制备脱腥牡蛎粉工艺的优化

Optimization process of molecular embedding technology on preparation of deodorant oyster powder

董庆亮 许丽莉

DONG Qing-liang XU Li-li

(钦州学院食品科学与工程学院, 广西 钦州 535000)

(College of Food Science and Engineering, Qinzhou University, Qinzhou, Guangxi 535000, China)

摘要:将新鲜牡蛎去除杂质,用碱性和中性蛋白酶进行酶解,考察不同护色剂的添加量、复合酶配比、酶解温度、酶解时间和加酶量对酶解液感官品质的影响,找到最优的酶解条件。通过选取不同比例的酪蛋白、麦芽糊精、魔芋精粉为牡蛎酶解液的包埋壁材,对牡蛎浓缩液包埋后进行喷雾干燥。然后对牡蛎干粉的吸湿率、堆积密度、休止角、水分含量、氧化稳定性和感官品质等指标进行测定,评价其品质。经过试验得到牡蛎酶解的最优条件为:护色剂添加量 0.1%、碱性蛋白酶与中性蛋白酶质量比为 1:1,加酶量 1%,酶解温度 50℃,酶解时间 30 min。喷雾干燥中壁材的最优配比条件为:酪蛋白:麦芽糊精:魔芋精粉质量比为 50:50:0.5。喷雾干燥壁材和浓缩 1 倍的酶解液的质量比为 50:50。

关键词:牡蛎;脱腥;包埋;酶解;喷雾干燥

Abstract: The removing impurities of fresh oyster was hydrolyzed by alkaline protease and neutral proteinase, and the optimal enzymatic hydrolysis conditions were found by investigating the effect of different color agent, the ratio of enzyme, the temperature of enzymatic hydrolysis, the time of enzymatic hydrolysis and the amount of enzyme on the sensory quality of the hydrolysate. The oyster enzymatic solution was buried through the use of different formulations of casein, maltodextrin, konjac powder as wall material, and then embedding oyster concentrate solution was spray-dried. Then, the spray-drying oyster powder was tested on moisture absorption rate, bulk density, angle of repose, moisture content, oxidation stability and sensory quality, in order to evaluate the quality. The results showed that the optimal enzymatic hydrolysis conditions of oyster were as followed: addition of protective agent 0.1%, mass ratio of alkaline protease to neutral protease 1:1, addition of complex enzyme 1%, enzymatic hydrolysis temperature 50℃, enzyme solution time 30 min. The optimum formulation of spray drying was: mass ratio of

casein to maltodextrin to konjac powder 50:50:0.5, and the mass ratio of spray dried wall material to the one times enzymatic hydrolysate concentration was 50:50.

Keywords: oyster; deodorization; encapsulation; enzymatic hydrolysate; spray drying

牡蛎肉味鲜美,富含蛋白质和氨基酸、糖原、维生素等营养成分及人体所必需的硒、铁、锌等微量元素,脂肪中多为不饱和脂肪酸,其营养价值评价很高,日本人称其为“海之玄米”,欧美人称其为“Sea Milk”^[1]。牡蛎也是中国卫生部第一批被批准的可同时作为药材使用和食品使用的保健品^[2],它具有较广泛的药用价值和食用价值^[3]。牡蛎蛋白质含量高,且氨基酸组成配比与人体接近,联合国粮农组织^[4]认为,牡蛎中拥有的人体必需氨基酸数量和质量高于牛乳和人乳。牡蛎中氨基酸多以游离态形式存在,它在中枢神经、心血管、内分泌等人体系统中具有重要的生物学功能^[5]。牡蛎脂肪具有提高肌体免疫功能^[6]、增强抗癌和抗氧化活性^[7]、治疗预防心血管疾病、抑制肿瘤和提高记忆力^[8]等功能。牡蛎糖原具有减轻胰腺负担,预防糖尿病,保护肝脏等功能^[9]。牡蛎富含的维生素和矿物质较其他食品中的更易于吸收,其中含有丰富的钙盐^[10],是重要的补钙食品。

目前,大都采用酶制剂对牡蛎进行处理得到功能活性肽,利用酶制剂处理可增加牡蛎营养的吸收率和利用率,提高了营养功效和生物利用性^[11],但酶解时,牡蛎会产生腥味,对于牡蛎等海产品的腥味的去除有活性炭滤纸脱腥、酵母脱腥等相关研究^[12]。本试验在兼顾产品营养和稳定性的同时,在制得较低腥味的酶解液产品的条件下,采取分子包埋脱腥的方式对牡蛎酶解液进行脱腥处理,选择 3 种壁材物质对牡蛎酶解浓缩液进行分子包埋脱腥处理,制得具有较好风味口感和稳定性好的产品。利用喷雾干燥技术将其干制成牡蛎粉^[13],该技术具有使产品贮运方便、速溶性和分散性好、能较好保护牡蛎活性成分等优点,既可解决新鲜牡蛎储

基金项目:钦州学院校级项目(编号:2014XJKY-16B)

作者简介:董庆亮(1980—),男,钦州学院讲师,华南理工大学在读博士研究生。E-mail: dql80@163.com

收稿日期:2016-04-30

运难题,又提高牡蛎的附加值。本试验研究牡蛎粉加工工艺过程中酶解工艺、喷雾干燥壁材的选择,以产品口感和稳定性等品质为主要考察指标,确定酶解的最佳工艺参数和最优的包埋壁材配方,旨在为制得高品质的牡蛎粉产品,为牡蛎产业化应用提供依据。

1 材料和方法

1.1 材料与试剂

新鲜牡蛎:购于钦州市鸿发市场;

中性蛋白酶、碱性蛋白酶:20万 U/g,郑州天耀科技有限公司;

麦芽糊精:规格 MD20,保龄宝生物股份有限公司;

酪蛋白、魔芋精粉、D-异抗坏血酸钠:食品级,河南兴源化工制品有限公司。

1.2 仪器与设备

集热式恒温加热磁力搅拌水浴器:DF-101S型,巩义市予华仪器有限公司;

旋转蒸发仪:RE-52型,上海青浦沪西仪器厂;

循环水式真空泵:SHZ-D III型,巩义市予华仪器有限公司;

立式胶体磨:RMJM-LB50型,瑞森(上海)不锈钢设备有限公司;

高压均质机:GJJ-0.5/25型,上海诺尼轻工机械有限公司;

喷雾干燥器:LPG-5型,上海顾信科技有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 工艺流程

(1) 酶解工艺:

牡蛎→去壳→漂洗(去除杂质及黑色结缔组织)→沥干(称量)→切碎→胶磨→酶解→灭酶→过滤→酶解液

(2) 喷雾干燥工艺:

麦芽糊精、酪蛋白、魔芋精粉及水→包埋液(50%)→胶磨→混合→均质→喷雾干燥→产品

↑
酶解液

1.3.2 牡蛎酶解工艺试验的优化 称取一定量切碎打浆后的牡蛎肉,加入一定量的D-异抗坏血酸钠作为护色剂,再加入一定量的复合酶,在一定的酶解温度条件下,酶解一定的时间,然后在100℃灭酶5min,200目筛网过滤,得酶解液并对其进行感官评价。

根据前期预试验结果,选取中性蛋白酶和碱性蛋白酶作为牡蛎酶解的复合酶,确定影响酶解液品质的5个主要因素:护色剂添加量、加酶量、酶解时间、酶解温度和复合酶配比,由此选用正交表 $L_{16}(4^5)$ 设计5因素4水平的正交试验,以确定最佳的酶解条件。

1.3.3 喷雾干燥工艺试验配方的优化 选取不同质量配比的麦芽糊精、酪蛋白、魔芋精粉(50:50:0.5,40:60:0.5,60:40:0.5)充分均匀的溶解在水中制成浓度为50%的包埋液用作牡蛎酶解液的壁材,牡蛎酶解液经浓缩1倍后作为

表1 牡蛎酶解正交因素水平表

Table 1 Factor codes and levels of the orthogonal test on Enzymatic hydrolysis process of oyster

水平	A 护色剂添加量/%	B 加酶量/%	C 酶解时间/min	D 酶解温度/℃	E 复合酶质量比
1	0.05	0.5	10	40	2:1
2	0.10	1.0	20	50	1:1
3	0.15	1.5	30	60	1:2
4	0.20	2.0	40	70	1:3

芯材,以不同质量比例(4:6,5:5)加入到包埋液中充分搅拌均匀,经过均质,在LPG-5型喷雾干燥器上进行喷雾干燥(进风温度180℃,出风温度80℃,蠕动泵转速300 mL/h),收集牡蛎粉产品进行感官测评。

对照样:称取一定量的牡蛎浓缩液不进行包埋处理,经均质、喷雾干燥(进风温度180℃,出风温度80℃,蠕动泵转速300 mL/h)制得干粉。

喷雾干燥牡蛎粉的配方:

A:40%牡蛎酶解浓缩液(浓缩1倍),60%的浓度为50%的壁材包埋液(麦芽糊精:酪蛋白:魔芋精粉的质量比=50:50:0.5);

B:40%牡蛎酶解浓缩液(浓缩1倍),60%的浓度为50%的壁材包埋液(麦芽糊精:酪蛋白:魔芋精粉的质量比=40:60:0.5);

C:40%牡蛎酶解浓缩液(浓缩1倍),60%的浓度为50%的壁材包埋液(麦芽糊精:酪蛋白:魔芋精粉的质量比=60:40:0.5);

D:50%牡蛎酶解浓缩液(浓缩1倍),50%的浓度为50%的壁材包埋液(麦芽糊精:酪蛋白:魔芋精粉的质量比=50:50:0.5);

E:50%牡蛎酶解浓缩液(浓缩1倍),50%的浓度为50%的壁材包埋液(麦芽糊精:酪蛋白:魔芋精粉的质量比=40:60:0.5);

F:50%牡蛎酶解浓缩液(浓缩1倍),50%的浓度为50%的壁材包埋液(麦芽糊精:酪蛋白:魔芋精粉的质量比=60:40:0.5)。

1.3.4 喷雾干燥牡蛎粉特性的检测

(1) 水分含量:按GB 5009.3—2010执行。

(2) 吸湿率:称取2g喷雾干燥粉末放入到恒重的称量瓶中,敞口放入装有硫酸钠饱和溶液的密闭干燥皿中。1周后,称量样品的重量,按式(1)计算样品的吸湿率。

$$H = \frac{M_1 - M_0}{M_0} \times 100\%, \quad (1)$$

式中:

H——吸湿率,%;

M_0 ——吸湿前粉末重量,g;

M_1 ——吸湿后粉末重量,g。

(3) 溶解速率:称取2g喷雾干燥的粉末,在室温下分别溶解于50 mL水中,在磁力搅拌器中以867 r/min搅拌至固

体完全溶解(溶液澄清),记录所需时间。

(4) 堆积密度:取喷雾干燥牡蛎粉经漏斗自由散落到 10 mL 量筒中,至 10 mL 刻度止,然后称量 10 mL 粉末的质量,堆积密度按式(2)计算:

$$\rho = \frac{1\ 000m}{10}, \quad (2)$$

式中:

ρ ——堆积密度,mg/mL;

m ——粉末质量,g。

(5) 休止角:参考文献[14]并略作修改:将漏斗固定于水平放置的白纸上,漏斗下口距纸的距离为 H ,取粉倒入漏斗,直到漏斗的出口与粉末锥体的尖端接触,量取底部直径($2r$),按式(3)计算休止角。

$$\theta = \arctan\left(\frac{h}{r}\right), \quad (3)$$

式中:

θ ——休止角, $^{\circ}$;

h ——漏斗下口距纸的距离,cm;

r ——干粉散落后底部半径,cm。

(6) 氧化稳定性试验:牡蛎粉的稳定性通过测量过氧化物值的变化来判断,分别称取对照样和 6 种配方牡蛎粉样品各 5 g 放入温度 37 $^{\circ}\text{C}$ 、湿度 75% 的恒温恒湿试验箱内,分别在 0,4,7,14,21 d 按 GB/T 5538—2005 测量其过氧化物值。

1.3.5 感官评定方法 根据 GB/T 16291.1—2012《感官分析 选拔、培训与管理评价员一般导则 第 1 部分:优选评价员》要求,选取 10 人组成感官评价小组,然后根据 GB/T 10220—2012《感官分析 方法学 总论》、GB/T 12312—2012《感官分析 味觉敏感度的测定方法》和 GB/T 29605—2013《感官分析 食品感官质量控制导则》对感官评价人员进行培训,然后对牡蛎酶解液和喷雾干燥牡蛎粉色泽、气味和口感等进行感官评价,结合牡蛎酶解液和牡蛎粉复水液特有产品特性,建立表 2 和表 3 的感官评分标准,并对牡蛎酶解液和喷雾干燥牡蛎粉复水液进行感官描述评分。

1.4 统计方法

采用 SPSS 22.0 统计软件对试验结果进行方差分析,每组试验重复 3 次, $P < 0.05$ 表示存在显著性差异。

2 结果与分析

2.1 牡蛎酶解正交试验结果

牡蛎酶解的护色剂添加量、加酶量、酶解时间、媒介温度和复合酶配比等因素对牡蛎酶解液品质的影响见表 4。

由表 4 可知,5 个因素对牡蛎酶解液品质影响的主次顺序为 $A > E > D > B > C$,各因素的最优组合为 $A_2E_2D_2B_2C_3$ 。

对表 4 的结果进行方差分析,结果见表 5。由表 5 可知,A 因素即护色剂的添加量对试验指标的影响在 $P < 0.05$ 以下达到显著水平,是影响牡蛎酶解液品质的主要因素,而复合酶配比、酶解温度等对酶解液品质影响较小。

试验最后确定制得最优酶解液的条件为 $A_2E_2D_2B_2C_3$,但在表 4 中不存在该组合,因此,需对最优组合 $A_2E_2D_2B_2C_3$ 进行实验验证。经过 3 次平行验证实验得到牡蛎酶解液的

表 2 牡蛎酶解液的感官评分标准

Table 2 Criteria for quality evaluation of oyster hydrolysate

评分	色泽	气味	口感
0~2	褐色	腥味很重	苦味很重
2~4	灰色	腥味重	苦味重
4~6	灰白色	腥味一般	苦味一般
6~8	白色	腥味轻	苦味小
8~10	浅白色或无色	无腥味	无苦味

表 3 喷雾干燥牡蛎粉复水液的感官评分标准

Table 3 Criteria for quality evaluation of spray dried oyster solution

评分	色泽	状态	气味	口感
0~2	灰褐色	大量结块	腥味很重	苦味很重
2~3	深灰色	沉淀明显	腥味重	苦味重
3~5	灰色	结块和分层	腥味一般	苦味一般
5~7	浅灰色	整体均匀、结块少	腥味小	苦味小
7~9	灰白色	均匀稳定、少量沉淀	腥味极小	苦味极小
9~10	浅白色或无色	均匀稳定、无沉淀	无腥味或牡蛎香味	无苦味或牡蛎风味

表 4 牡蛎酶解工艺正交实验结果

Table 4 Orthogonal results of enzymatic hydrolysis process of oyster

试验	A	B	C	D	E	感官评分
1	1	1	1	1	1	12
2	1	2	2	2	2	20
3	1	3	3	3	3	16
4	1	4	4	4	4	15
5	2	1	2	3	4	22
6	2	2	1	4	3	25
7	2	3	4	1	2	28
8	2	4	3	2	1	27
9	3	1	3	4	2	25
10	3	2	4	3	1	23
11	3	3	1	2	4	24
12	3	4	2	1	3	21
13	4	1	4	2	3	20
14	4	2	3	1	4	19
15	4	3	2	4	1	18
16	4	4	1	3	2	20
k_1	15.75	19.75	20.25	20.00	20.00	
k_2	25.50	21.75	20.25	22.75	23.25	
k_3	23.25	21.50	21.75	20.25	20.50	
k_4	19.25	20.75	21.50	20.75	20.00	
R	9.75	2.00	1.50	2.75	3.25	

最优感官评价得分为29分。由此可以得到,牡蛎酶解的最优工艺条件组合为:护色剂添加量0.10%、复合酶质量配比1:1、酶解温度50℃、加酶量1.0%、酶解时间30 min。

表5 牡蛎酶解工艺方差分析结果

Table 5 Analysis of variance of Enzymatic hydrolysis process of oyster

因素	偏差平方和	自由度	F比	显著性
A	223.688	3	3.871	显著
B	9.688	3	0.168	
C	7.688	3	0.133	
D	18.688	3	0.323	
E	29.188	3	0.505	
误差	288.940	15		

2.2 不同牡蛎酶解液喷雾干燥配方对干粉特性的影响

牡蛎喷雾干燥粉作为一种粉末状食品辅料,必需具备良好的应用性,而吸湿率、水解速率、水分含量、堆积密度、休止角指标是反应固体粉末品质优劣的重要指标。由表6可知,对照样的吸湿率远高于其他6种牡蛎粉,6种不同配方喷雾干燥粉中吸湿率最大的为配方A,最小为配方F,其差别为2.9 g H₂O/100 g,说明经过不同配方壁材的包埋处理后,牡蛎粉产品的吸湿率得到明显改善,牡蛎粉产品的应用特性得到显著性的提高。不同配方牡蛎喷雾干燥粉中的最大溶解速率与最小溶解速率差别13 s,对照样的溶解速率也处于其范围内。在水分含量特性中,无论对照样还是6种不同配方牡蛎喷雾干燥粉均小于5%,满足中国固体饮料对水分指标的要求(GB/T 29602—2013的要求不高于7%)。

综合吸湿率、溶解速度、水分含量、堆积密度和休止角

表6 不同配方牡蛎喷雾干燥粉的特性[†]

Table 6 Properties of difference formulations of spray-dried oyster

配方	吸湿率/ (10 ⁻² g H ₂ O · g ⁻¹)	溶解速率/ s	水分含量/ %	堆积密度/ (mg · mL ⁻¹)	休止角/ (°)
对照样	56.73±4.32 ^a	62±3 ^c	4.97±0.08 ^a	286±7 ^c	30.8±0.2 ^b
A	26.46±2.32 ^b	65±4 ^{bc}	4.85±0.07 ^b	285±6 ^c	29.2±0.5 ^c
B	25.78±1.85 ^b	72±5 ^a	3.92±0.02 ^e	302±8 ^{ab}	30.6±0.3 ^b
C	23.67±0.36 ^b	61±3 ^c	4.06±0.06 ^d	292±5 ^{abc}	28.4±0.8 ^c
D	23.85±0.27 ^b	59±2 ^c	3.71±0.04 ^f	288±9 ^{bc}	29.1±0.6 ^c
E	24.83±1.22 ^b	69±4 ^{ab}	4.63±0.08 ^c	298±7 ^{abc}	30.8±0.2 ^b
F	23.56±1.03 ^b	70±3 ^{ab}	3.64±0.05 ^f	303±10 ^a	33.1±0.4 ^a

† 同一列中,数据间的显著性差异标用不同小写字母表示(P<0.05)。

5个方面分析得到,不同配方牡蛎喷雾干燥粉中,配方C和D的产品特性最好。

2.3 不同牡蛎酶解液喷雾干燥配方对产品感官品质的影响

由表7可知,经过麦芽糊精、酪氨酸钠和魔芋精粉包埋处理的喷雾干燥牡蛎粉的感官品质均优于对照样,说明经过分子包埋处理对牡蛎粉产品的感官品质有一定程度的提高。在6种配方喷雾干燥牡蛎粉中,感官品质最好的是配方A和D,其次是配方E和F。说明包埋处理降低了牡蛎酶解液不愉悦的风味。

表7 不同配方牡蛎喷雾干燥粉感官评价结果

Table 7 Sensory evaluation results of difference formulations of spray-dried oyster

配方	色泽	状态	气味	口感	总分
对照样	8	8	7	8	31
A	9	10	9	9	37
B	8	9	8	9	34
C	9	8	9	8	34
D	10	9	9	9	37
E	8	10	10	8	36
F	9	8	9	9	35

2.4 不同牡蛎酶解液喷雾干燥配方氧化稳定性分析

对不同配方喷雾干燥以过氧化物值作为评价指标,对不同配方喷雾干燥牡蛎粉连续进行3周的稳定性测试,结果见表8。由表8可知,刚喷雾干燥完的产品其过氧化物值差别较小,但随着时间的增加,对照样的过氧化物值升幅明显高于添加壁材包埋的牡蛎粉,说明包埋处理提高了牡蛎粉的氧化稳定性。从表8中6组配方牡蛎粉的过氧化物值来看,配方C和D的稳定性优于其它4组。

3 结论

(1) 牡蛎最佳酶解工艺参数为:护色剂添加量0.1%、复合酶配质量比1:1、酶解温度50℃、加酶量1%、酶解时间30 min;在此条件下可制得具有较好感官品质的牡蛎酶解液。

(2) 麦芽糊精、酪蛋白和魔芋精粉作为壁材对牡蛎酶解液进行分子包埋,通过对不同比例的壁材制得牡蛎干粉的吸湿率、溶解速度、水分含量、堆积密度、休止角、氧化稳定性和产品的感官品质等参数的综合考察,得到最佳的壁材配方比例和添加量:50%牡蛎酶解浓缩液(浓缩1倍),50%的浓度为50%的壁材包埋液(麦芽糊精:酪蛋白:魔芋精粉质量比=50:50:0.5)。试验结果证明通过分子包埋技术能够很好地解决牡蛎产品的腥味、苦味等不良风味的感官品质,

表 8 不同配方牡蛎喷雾干燥粉稳定性评价[†]

Table 8 Stability evaluation results of difference formulations of spray-dried oyster

配方	过氧化物值/(meq·kg ⁻¹)				
	0 d	4 d	7 d	14 d	21 d
对对照	0.18±0.02 ^a	1.86±0.02 ^a	2.16±0.03 ^a	2.55±0.02 ^a	2.97±0.02 ^a
A	0.08±0.01 ^c	0.22±0.01 ^{cd}	0.28±0.02 ^b	0.32±0.02 ^d	0.43±0.01 ^c
B	0.11±0.02 ^c	0.23±0.02 ^{bcd}	0.28±0.02 ^b	0.33±0.01 ^{cd}	0.42±0.02 ^c
C	0.09±0.01 ^c	0.21±0.03 ^d	0.31±0.02 ^b	0.35±0.02 ^{bcd}	0.40±0.03 ^c
D	0.12±0.02 ^c	0.25±0.02 ^{bcd}	0.31±0.02 ^b	0.36±0.02 ^{bc}	0.41±0.02 ^c
E	0.16±0.02 ^{ab}	0.26±0.03 ^{bc}	0.29±0.02 ^b	0.36±0.02 ^{bc}	0.51±0.02 ^b
F	0.14±0.01 ^b	0.27±0.02 ^b	0.32±0.02 ^b	0.37±0.01 ^b	0.49±0.02 ^b

[†] 同一列比较中,数据间的显著性差异用不同小写字母表示(P<0.05)。

同时牡蛎干粉的吸湿性和稳定性品质也得到很大提高,增加了产品应用的广谱性。

参考文献

- [1] 吴园涛,孙恢礼. 牡蛎营养功能制品研究进展[J]. 河北渔业, 2007(8): 6-9.
- [2] 叶盛权,吴晖,赖富饶,等. 牡蛎酶解过程的成分变化及脱腥初步研究[J]. 现代食品科技, 2009, 25(3): 262-265.
- [3] 腾瑜,乔向英,曲克明. 牡蛎酶解工艺条件的研究[J]. 海洋水产研究, 1997, 18(1): 112-116.
- [4] FAO/WHO/UNU. Energy and protein requirements: Report of a Joint FAO/WHO/UNU expert consultation [R]. Geneva: FAO/WHO/UNU, 1985.
- [5] SCHULLER-LEVIS G B, PARK E. Taurine: new implications for an old amino acid[J]. FEMS Microbiology Letters, 2003, 226(2): 195-202.
- [6] 邵邻相,何新霞. 复合磷脂对延长寿命和改善免疫功能作用的研究

究[J]. 营养学报, 1996, 18(4): 471-731.

- [7] MARX J L, 谭景莹. 聚磷酸肌醇研究进展[J]. 生物科学动态, 1989(3): 47-49.
- [8] ZATSICK N M, MAYKET. Fish oil: getting to the heart of it [J]. The Journal for Nurse Practitioners, 2007, 3(9): 104-109.
- [9] 胡婷,陈琼华. 牡蛎多糖防治心血管病及其它生物活性[J]. 中国生化药志, 1993, 17(1): 53-56.
- [10] 滕瑜,王彩理. 牡蛎的营养和降糖作用研究[J]. 海洋水产研究, 2005, 26(6): 39-44.
- [11] 王亮,杜卫华,孙金才,等. 牡蛎肉双酶复合水解工艺[J]. 无锡轻工大学学报, 2003, 22(3): 97-100.
- [12] 蒋杨,吴红棉,范秀萍,等. 近江牡蛎多糖口服液的研制[J]. 食品与机械, 2013, 29(2): 208-210.
- [13] 宋贤聚. 低吸湿性杨梅粉喷雾干燥工艺的优化[J]. 食品与机械, 2013, 29(3): 226-229.
- [14] 孙君社,马林,刘海. 牡蛎壳和花生壳的超微粉碎及表征[J]. 中国食物与营养, 2000(5): 26-28.

(上接第 160 页)

- [4] 许小向,洪艳平,胡捷敏,等. 松针多糖微波提取工艺及抗氧化性研究[J]. 食品工业科技, 2015, 36(23): 222-227.
- [5] YANG Y F, FENG J Q, XU H Y, et al. Influence of different extraction and purification methods on astragalus polysaccharides and pharmacological evaluation[J]. Chin. Herb. Med., 2010, 21(1): 54-61.
- [6] 尚喜雨. 水提法·酶法提取铁皮石斛多糖的比较研究[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(18): 9 787-9 788.
- [7] 王泽锋,石玲,苏一兰,等. 微波辅助提取紫薯蒴中多糖工艺的研究[J]. 食品工业科技, 2014, 35(4): 256-260.
- [8] 冯自立,党娅. 响应面法优化微波提取枳椇子多糖及其清除羟自由基活性研究[J]. 食品科学, 2013, 34(12): 56-60.
- [9] 张海容,白娟,魏增云,等. 超声萃取一响应面法优化淡竹叶多糖提取方法研究[J]. 化学研究与应用, 2013, 25(3): 303-310.
- [10] 周思思,王榆元,刘丹,等. 超声波辅助提取人参花多糖工艺优化及其抗氧化活性[J]. 食品科学, 2015, 36(6): 76-81.
- [11] 李宏睿,范琳琳,徐明生,等. 苦瓜多糖超声波辅助提取工艺优化[J]. 食品与机械, 2010, 26(2): 107-109
- [12] SHI E H, LI H, CU M C, et al. The process conditions optimization of the ultrasonic extraction of chestnut involucre polyphenols using response surface method[J]. J. Chin. Inst. Food Sci. Tech., 2013, 13(5): 62-67.
- [13] 李建凤,黄辉,周强,等. 复合酶法提取洋葱多糖的研究[J]. 分

析科学学报, 2014, 30(4): 493-496.

- [14] 张萍,常君,张海娟. 复合酶法提取石榴皮多糖的工艺研究[J]. 食品科技, 2015, 40(11): 162-171.
- [15] 王杉杉,马韵升,姚刚,等. 超声波辅助复合酶法提取枸杞多糖工艺研究[J]. 中国酿造, 2015, 34(7): 134-137.
- [16] 王文文,刘嘉俊,廖延智,等. 高压热水一复合酶提取香菇多糖工艺研究[J]. 食品与发酵科技, 2015, 51(3): 27-30
- [17] 尹秀莲,游庆红. 超声辅助复合酶法提取桑黄多糖[J]. 食品与机械, 2011, 27(4): 58-60.
- [18] 梁敏,邹东恢,郭宏文,等. 复合酶法提取金针菇多糖及光谱分析[J]. 湖北农业科学, 2012, 51(6): 1 211-1 213.
- [19] 卫强,纪小影. 酶法联合闪式提取红叶李花多糖及单糖初步分析[J]. 天然产物研究与开发, 2015, 27(12): 2 101-2 108.
- [20] 李亚辉,马艳弘,黄开红,等. 响应面法优化复合酶提取芦荟多糖工艺及其抗氧化活性分析[J]. 食品科学, 2014, 35(18): 63-68.
- [21] 董晶晶,张杰,刘炯,等. 鹿衔草多糖不同提取方法的比较[J]. 中医学报, 2015, 30(8): 1 173-1 175.
- [22] 汪建红,李迪. 纤维素酶法提取荸荠皮中多糖的工艺研究[J]. 食品工业科技, 2016, 37(5): 248-251.
- [23] 许晶晶,唐志红,王景玉,等. 浒苔多糖的纯化及抗氧化活性研究[J]. 食品工业科技, 2009, 30(10): 134-136.
- [24] 亓树艳,王荔,莫晓燕. 大枣多糖的提取工艺及抗氧化作用研究[J]. 食品与机械, 2012, 28(4): 117-120.