



林花,金海强,姜银姬,等.灵芝多肽提取及冲剂制备工艺研究[J].黑龙江农业科学,2025(3):54-60.

灵芝多肽提取及冲剂制备工艺研究

林花¹,金海强¹,姜银姬¹,金美玉¹,王婷¹,金星爱¹,尹花²,车成来¹

(1.延边朝鲜族自治州农业科学院 农特产品加工研究所,吉林 延吉 133000; 2.龙井市人民医院,吉林 龙井 133400)

摘要:为探明超声波辅助酶解法在提取灵芝多肽时的最佳工艺参数,促进灵芝多肽的提取及相应产品的工厂化生产,以多肽提取量为参考指标,进行灵芝多肽的提取及灵芝多肽冲剂制备工艺研究,首先进行单因素试验,随后采用正交试验设计来优化结合超声波与酶法提取灵芝多肽的工艺条件,并进一步探究灵芝多肽冲剂的配方。结果表明,通过优化确定了灵芝多肽的最佳提取工艺参数,即料液比为 1:50,反应时间为 2 h,反应温度为 60 ℃,加酶量为 6 000 U·g⁻¹。此外,针对灵芝多肽冲剂的配方,也得出了最优比例,糊精占 20%,淀粉占 25%,柠檬酸占 0.3%,蔗糖占 6%。

关键词:灵芝子实体;活性多肽;酶解法;提取;最佳条件

灵芝(*Ganoderma lucidum*),亦称赤芝、瑞草或灵芝草,归属于担子菌纲多孔菌目灵芝科,是一种珍稀且具有药用价值的真菌^[1]。2023 年 11 月,国家卫健委正式将灵芝列入药食同源物质,它广泛分布于中国的多个省份,包括黑龙江、吉林、山东、湖南,以及安徽的霍山地区、江西、广东和广西等地,其中比较集中的是吉林省的东北灵芝种植基地。欧美、非洲和亚洲东部也有不同的灵芝批量生产。灵芝在我国被称为“不朽的蘑菇”,应用于东方医学,距今已有 2 000 多年的历史,在许多医学古籍中都有论述,历来被历代医学家和劳动人民奉为延年益寿、滋补强壮、扶正固本的神奇珍宝^[2],也是我国传统的中医膳食宝库中的珍品,是我国传统的药膳养生之宝^[3]。灵芝作为中华传统名贵地道药材之一,具有极高的营养价值和药用价值,目前灵芝的研究主要聚焦于灵芝子实体活性成分(如多糖类、核苷类、生物碱类、三萜类等),相比之下,针对灵芝蛋白的研究尚显不足^[4-6]。灵芝中的蛋白质含量较高,远远超过多糖和三萜类化合物^[7]。灵芝蛋白以蛋白质、多肽、氨基酸、凝集素、糖蛋白、酵素等为主要存在形式的蛋白质有很多。灵芝多肽可以从不同的灵芝中提取,但赤芝中的灵芝多肽是最丰富的,其药效价值也最高。

多肽是灵芝中一种重要的生物活性物质,属于水溶性成分^[8]。灵芝活性多肽是两个或两个以上以肽键相连的氨基酸化合物,是介于蛋白质和

氨基酸的中间产物。它不仅是蛋白质的功能和结构片段,也是蛋白质的活性基因部分^[9]。具有降血脂、降血压、抗氧化、调节免疫力、抗肿瘤等功效^[10-12]。灵芝多肽是灵芝的次级代谢产物,它具有低毒、高效、稳定等多种优点,并且还具有多种生理活性,可以在食品和医药行业中广泛应用^[13]。

许多研究表明,植物加工的副产物是重要的蛋白来源,但因一些动物源性的蛋白来源易携带病毒或致敏物质,所以植物源性的副产品蛋白来源更有望成为增值成分添加到食品中^[14]。在蛋白提取方法中,酶辅助提取法更受青睐,主要是因为酶辅助提取过程中,其提取的条件较温和、操作较简单^[15]。其次,在副产物中蛋白质常与淀粉、纤维素、果胶以及细胞中的脂质共存,而酶辅助提取有利于蛋白质以可溶性形式从内部细胞区室释放出来,提高蛋白质的提取率。因此,本文以灵芝子实体为主要原料,采用超声波结合酶解法优化灵芝子实体活性多肽提取工艺,并对灵芝子实体多肽的分子量进行分析,丰富了对灵芝多肽的认识,为灵芝多肽的酶法制备和应用研究提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 材料与试剂 灵芝子实体(产地:吉林省蛟河市黄松甸镇灵芝基地,经粉碎后,烘箱烘干进

收稿日期:2024-10-09

基金项目:延边州科技发展规划项目(2022GX30)。

第一作者:林花(1981—),女,硕士,副研究员,从事药食同源物质的有效成分提取及加工研究。E-mail:linhua0227@163.com。

通信作者:车成来(1971—),男,学士,副研究员,从事农特产品加工研究。E-mail:23124951@qq.com。

行预处理);木瓜蛋白酶($200\,000\text{ U}\cdot\text{g}^{-1}$);碱性蛋白酶($200\,000\text{ U}\cdot\text{g}^{-1}$);中性蛋白酶($50\,000\text{ U}\cdot\text{g}^{-1}$);无水乙醇(分析纯)、柠檬酸(分析纯)、亚硒酸钠(分析纯)、氢氧化钠(分析纯)等。

1.1.2 仪器与设备 离心机:上海卢湘仪离心机仪器有限公司;数显恒温水浴锅:金坛市富华仪器有限公司;电子天平:QUINTIX125D-1CN,赛多利斯公司;pH 计:奥豪斯仪器有限公司;旋转蒸发仪:东京理化;冷冻干燥机:宁波新芝冻干设备股份有限公司;氨基酸分析仪:德国曼默博尔公司;高效液相色谱仪:LC2030C3D,岛津。

1.2 方法

1.2.1 灵芝多肽的提取方法 试验于 2023 年在延边州农业科学院农特产品加工研究所实验室进行。

称取灵芝子实体粉 10 g,加水浸泡 30 min,超声功率 60%,20 min, $0.1\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 的柠檬酸调节 pH,加入适量的酶,50 ℃,反应 1.5 h,90 ℃灭酶 10 min。加入柠檬酸调节 pH 至 7,抽滤,蒸发浓缩至 10 mL,加入 4 倍体积 95 ℃乙醇,置 4 ℃冰箱中醇沉过夜, $4\,000\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ 离心 10 min 后,取上清液进行冷冻干燥处理,即可制得灵芝多肽提取物^[16]。

最适蛋白酶的筛选:分别用木瓜蛋白酶、碱性蛋白酶、中性蛋白酶和复合蛋白酶于其最适 pH 及温度下酶解制备灵芝多肽(表 1)。根据各种酶的活性特点,制定各种活性酶的酶解条件,通过测量酶解多肽得率,分析酶解条件的优劣,确定灵芝多肽得率最高的蛋白酶^[17]。

表 1 不同蛋白酶的最适酶活条件

蛋白酶种类	最适 pH	最适温度/℃	酶活/($\text{U}\cdot\text{g}^{-1}$)
木瓜蛋白酶	7.0	55	2.0×10^5
碱性蛋白酶	9.0	55	2.0×10^5
中性蛋白酶	7.5	45	0.5×10^5
复合蛋白酶	7.0	50	1.2×10^5

单因素试验设计:在不同的提取条件下,分别用料液比、时间、温度和酶加量进行单因素试验,具体试验设计详见表 2。

表 2 单因试验设计表

料液比	温度/℃	时间/h	酶加量/($\text{U}\cdot\text{g}^{-1}$)
1:20	40	0.5	3000
1:30	50	1.0	4000
1:40	55	1.5	5000
1:50	60	2.0	6000
1:60	65	2.5	7000

正交试验设计:根据单因素试验,利用正交试验优化料液比、时间、温度和酶加量 4 个影响因素,具体设计详见表 3。

表 3 正交试验因素水平表

水平	因素			
	料液比	温度/℃	反应时间/h	酶加量/($\text{U}\cdot\text{g}^{-1}$)
1	1:30	50	1.0	4000
2	1:40	55	1.5	5000
3	1:50	60	2.0	6000

1.2.2 提取物中多肽含量的测定方法 参照《中华人民共和国国家标准 大豆肽粉》(GB/T 22492—2008)附录 B 的方法测定。采用凯氏定氮、氨基酸分析法测定提取物中多肽含量。

酸溶蛋白质含量计算公式:

$$X_1 = \frac{(V_1 - V_2) \times C \times 0.0140}{M \times 10 / 100} \times 6.25 \times 100$$

式中, X_1 为酸溶蛋白质含量, $\text{g}\cdot(100\text{ g})^{-1}$; V_1 为样液定氮所耗盐酸标准溶液的量,mL; V_2 为空白对照定氮所耗盐酸标准溶液的量,mL; C 为盐酸标准溶液的浓度, $\text{mol}\cdot\text{mL}^{-1}$; M 为样品质量,g。0.0140 为 1.0 mL 盐酸 [$C(\text{HCl}) = 0.050\,0\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$] 标准滴定液相当的氮的质量,g; 6.25 为氮换算为蛋白质的系数。

游离氨基酸含量:分别精确吸取对照品溶液和样品溶液各 20 μL 注入氨基酸分析仪,记录色谱图,通过测量各峰的峰面积来进行计算。

最终通过酸溶性蛋白质总量减去游离氨基酸的含量来确定多肽含量^[18]。

1.2.3 灵芝多肽冲剂的制备 将灵芝多肽干粉与辅料按照比例充分混合,喷洒乙醇溶液以充当润湿剂,直至形成易于塑形且捏可成团、轻触即散的软材。把调配好的软材倒入摇摆式颗粒机内,利用 18 目筛网进行颗粒化处理。将颗粒置于 50~70 ℃ 的恒温干燥箱中烘干 20 min,最后通过 10 目筛网进行筛选,以确保颗粒大小的均匀性。

润湿剂浓度考察:添加不同浓度的乙醇(60%、70%、80%、90% 和 95%),以颗粒剂的黏度及过筛情况为考察指标,进行润湿剂浓度的考察。

润湿剂用量考察:分别按照相应比例加入润湿剂(10%、15%、20%、25% 和 30%),以颗粒的成型为指标,确定润湿剂的用量。

辅料用量考察:选择糊精与淀粉来充当填充剂,同时,为了调节口味,加入了柠檬酸与蔗糖作

为矫味剂^[19]。在总质量一定的条件下,分别考察不同淀粉添加量、糊精添加量、柠檬酸添加量和蔗糖添加量。采用 10 分制的评分标准,组织 10 人的评价小组,依据色泽(最高可得 2 分)、气味(最高可得 3 分)以及口感(最高可得 5 分)这 3 个维度,对冲剂进行全面的感官评估。

流动性和贮藏稳定性的测定:休止角的大小与颗粒直径和颗粒表面有关,粒径大小与休止角呈负相关,表面粗糙程度与休止角呈正相关,通常 $\theta \leq 30^\circ$ 时表明流动性好, $\theta \leq 40^\circ$ 表示满足生产过程中的流动性需求。将冲剂放在 36 ℃ 环境下,7 d 观察其性状变化、粒度和水分含量。

2 结果与分析

2.1 灵芝多肽提取条件试验结果

2.1.1 最适酶的筛选 在各自最适宜的 pH 和温度设置下,分别采用了木瓜蛋白酶、碱性蛋白酶、中性蛋白酶以及复合蛋白酶对原料进行酶解。依据这些酶各自的活性特征,设计了酶解条件试验^[20]。通过一系列的试验分析,最终发现,在提取灵芝多肽方面,复合蛋白酶展现出了最高的提取效率,达到 15.4%(图 1)。

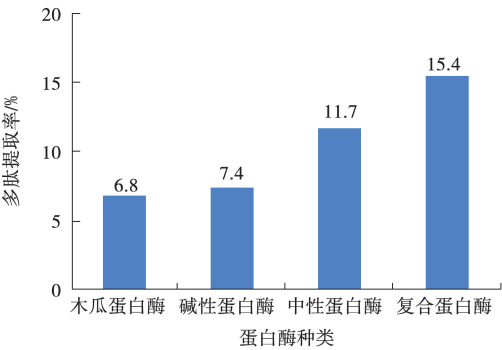


图 1 不同酶对灵芝多肽提取率的影响

2.1.2 料液比对灵芝多肽提取率的影响 从图 2A 可以看出,多肽提取率在料液比增高的情况下,首先升高,然后下降。当料液比为 1:50 时,多肽提取率达到极大值(20.5%),之后又逐步回落。

2.1.3 温度对灵芝多肽提取率的影响 从图 2B 可以看出,当温度逐渐上升时,多肽的提取率先是呈现增加的趋势,在温度达到 55 ℃ 时,多肽的提取率抵达峰值 17.8%,之后开始下降。

2.1.4 时间对灵芝多肽提取率的影响 从图 2C 可以看出,多肽的提取率随着时间的延长而逐步上升。在 2.0 h 的时间点,多肽提取率达到了一个高峰值(14.9%),之后则开始缓慢下降。

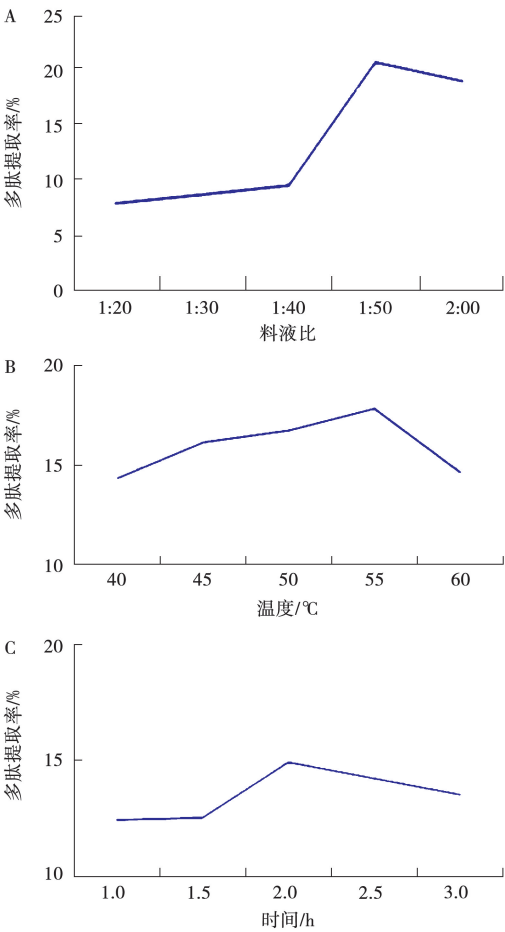


图 2 料液比(A)、温度(B)和时间(C)对灵芝多肽提取率的影响

2.1.5 正交试验结果 由表 4 可知,影响多肽提取量的因素为 $D > C > B > A$,由此可得最优提取条件为 A3B3C3D3,通过进行灵芝多肽酶解的单因素试验以及正交试验的探索,系统地筛选并确定了制备灵芝活性多肽的最佳酶解条件组合 A3B3C3D3,具体参数如下:在进行复合酶酶解灵芝多肽的过程中,最适宜的料液比设定为 1:50,酶解时间控制在 2.0 h,酶解温度维持在 60 ℃,并且加酶量调整为 $6\,000\text{ U}\cdot\text{g}^{-1}$ 。

2.1.6 验证试验 为了验证这一最佳酶解条件的有效性,设计了验证试验,包含 3 组平行测试,保证数据的精确性和信赖度。由表 5 可知,经实际验证,采用本研究所确定的最佳酶解条件进行提取,灵芝多肽提取率为 22.5%,均高于正交试验中所获得的结果。这表明,本研究中确立的最佳提取工艺条件不仅贴合实际情况,而且具有相当的指导意义和实用价值。

表 4 酶法提取灵芝多肽正交试验结果

试验号	因素				多肽提取率/ %
	A 料液比	B 时间	C 温度	D 酶加量	
1	1	1	1	1	10.7
2	1	2	2	2	11.5
3	1	3	3	3	15.4
4	2	1	2	3	12.8
5	2	2	3	1	11.4
6	2	3	1	2	12.1
7	3	1	3	2	14.9
8	3	2	1	3	12.5
9	3	3	2	1	11.6
K1	37.6	38.4	35.3	33.7	
K2	36.3	35.4	35.9	38.5	
K3	39.0	39.1	4.2	40.7	
k1	12.5	12.8	11.8	11.2	
k2	12.1	11.8	12.0	12.8	
k3	13.0	13.0	13.9	13.6	
R	0.9	1.2	2.1	2.4	
主次顺序	D>C>B>A				
优水平	A3	B3	C3	D3	
优组合	A3B3C3D3				

表 5 灵芝多肽最佳提取工艺条件的验证试验结果

试验编号	灵芝多肽提取率/%
1	23.4
2	22.6
3	21.5
平均值	22.5

2.2 灵芝多肽提取物中多肽含量测定结果

通过对上述试验中的灵芝多肽提取物采用凯氏定氮、氨基酸分析法测定提取物中多肽含量,计算出灵芝多肽提取物中的灵芝多肽含量为 $54.5\text{ g}\cdot(100\text{ g})^{-1}$ 。

2.3 灵芝多肽冲剂的制备试验结果

2.3.1 乙醇浓度对制粒效果的影响 为了精确控制润湿剂的添加量,采用“捏合成团、轻触即散”的传统评估标准来进行优化调整^[21]。由表 6 可知,当原料粉与 60%及 70%浓度的乙醇水溶液混合时,由于黏度显著增高,混合物难以通过筛网,并出现结块成条状的现象,从而导致制粒失败。当使用 80%浓度的乙醇水溶液时,虽然上述情况

有所改善,但制得的颗粒大小不一致,这主要是由小范围内的黏结现象所导致。相比之下,90%浓度的乙醇水溶液展现出了最佳的试验效果。而使用 95%浓度的乙醇水溶液时,虽然黏度较低,混合物能够顺利过网,但由于乙醇在烘干过程中的干燥速率极快,加之其本身黏度就低,使得在干燥过程中部分颗粒发生破裂并掉粉。综上所述,选择了 90%浓度的乙醇水溶液作为最适宜的润湿剂。

表 6 乙醇浓度对制粒效果的影响

乙醇浓度/%	制粒效果
60	软材黏结成团不易散开,粘于筛网,制粒困难
70	粘网严重,通过筛网呈现短条状
80	能制粒,粘网轻,干燥后颗粒大小不均
90	能制粒,易过网,粘网轻,干燥后颗粒大小较均匀
95	软材疏松,易过网,干燥后有细粉

2.3.2 润湿剂用量对制粒效果的影响 由表 7 可知,当润湿剂用量为 10%时,其润湿效果显得不足,导致细粉含量仍然较高,制粒效果不理想。而当润湿剂用量增加至 15%时,达到了最佳的制粒效果。进一步增加润湿剂用量至 20%,开始出现轻度的团聚现象,并且颗粒表面变得坚硬,这影响了颗粒的质量。当润湿剂用量达到 25%和 30%时,再次观察到了成条成块的现象,这表明润湿剂过量。综合以上考虑,最终决定采用 15%的 90%乙醇溶液作为润湿剂,以确保最佳的制粒效果和颗粒质量。

表 7 润湿剂用量对制粒效果的影响

润湿剂用量/%	制粒效果
10	软材疏松,细粉较多
15	软材疏松易过网,粘网轻,干燥后颗粒大小较均匀
20	能制粒,粘网轻,干燥后颗粒较硬
25	粘网严重,通过筛网呈现短条状
30	软材粘结成团,无法制粒

2.3.3 辅料添加量对制粒效果的影响 由表 8 可知,当淀粉添加量为 25%、糊精添加量为 20%、柠檬酸添加量为 0.3%、蔗糖添加量为 6%时冲剂在口感、气味以及色泽方面表现最佳,综合评分分别达 9.0、9.3、9.0 和 9.4。

表 8 辅料添加量的影响

辅料	添加量/%	色泽	气味	口感	综合评分
淀粉	15	1.6	2.2	3.9	7.7
	20	1.8	2.4	4.4	8.6
	25	1.8	2.5	4.7	9.0
	30	1.8	2.4	4.5	8.7
	35	1.7	2.2	4.4	8.3
糊精	15	1.7	2.2	3.7	7.6
	20	2.0	2.6	4.7	9.3
	25	1.9	2.4	4.6	8.9
	30	1.8	2.4	4.5	8.7
	35	1.8	2.3	4.6	8.7
柠檬酸	0.1	1.9	2.5	4.0	8.4
	0.2	1.9	2.6	4.0	8.5
	0.3	1.9	2.6	4.5	9.0
	0.4	1.9	2.6	4.4	8.9
	0.5	1.9	2.7	4.3	8.9
蔗糖	4	1.8	2.4	4.4	8.8
	6	1.9	2.7	4.8	9.4
	8	1.8	2.6	4.6	9.0
	10	1.8	2.4	4.5	8.7
	12	1.7	2.6	4.1	8.4

2.3.4 冲剂的流动性 由表 9 可知,成品冲剂的休止角为 38.72°,这一数值符合生产上的流动性需求。

表 9 休止角测定结果

序号	药粉高度/cm	药粉底部半径/cm	休止角/°
1	2.21	2.76	38.69
2	2.28	2.76	39.56
3	2.15	2.76	37.92
平均	2.21	2.76	38.72

2.3.5 贮藏稳定性的测定 由表 10 可知,冲剂在 36℃环境下,其性状、粒度和水分含量无明显变化。

表 10 贮藏稳定性的测定

项目	0 d	7 d	14 d	21 d	28 d
性状	无明显变化				
粒度	通过 10 目筛网但不能通过 80 目筛网				
水分含量/%	3.36	3.35	3.37	3.38	3.38

3 讨论

本研究中,采用了超声波辅助酶解法来提取灵芝多肽,并通过结合单因素分析与正交试验的策略,对提取工艺进行了系统优化,最终确定了最佳的提取条件,即料液比设定为 1:50,酶解时间控制在 2.0 h,酶解温度维持在 60℃,并且加酶量调整为 6 000 U·g⁻¹。经测定提取物中多肽含量为 54.5 g·100 g⁻¹,平均分子量为 750 Da,属于小分子多肽。与传统提取方法相比,本方法展现出了一系列优势,包括提取条件更为温和、操作流程更为简便,以及提取效率有了显著提高。在酶的选择上,复合蛋白酶表现出较高的活性,这可能与其酶系组成有关,多种酶协同作用能更有效地水解灵芝蛋白释放多肽。

在灵芝多肽冲剂的制备中,乙醇的浓度以及润湿剂的使用量对颗粒形成的效果有着显著的影响。合适的乙醇浓度和润湿剂用量能改善软材性质,提高制粒成型率^[22]。在湿法造粒成型技术应用于冲剂产品生产的工艺探索中,润湿剂的选择至关重要,它能够有效润湿粉末表面,增强分子间相互作用,从而提升成型效率,促进制粒过程的顺利进行。相反,不恰当的润湿剂选择可能会引发诸如软材黏附筛网、制粒难度增加等问题。鉴于灵芝多肽干粉的独特粉质特性,若使用水作为润湿剂,会导致软材过度黏稠,难以通过筛分。因此,决定采用特定浓度的乙醇水溶液作为润湿剂进行制粒操作,其中,最适宜的乙醇浓度需根据干粉的具体性质来确定。在本研究中,选定 90%浓度的乙醇作为润湿剂,并在此基础上,进一步单独探究了润湿剂用量对制粒效果的详细影响。适量的润湿剂在造粒过程中能有效提升成型率等关键指标,然而,润湿剂的过量添加可能会引发一系列问题,如导致软材过于柔软黏稠,进而使得制粒变得困难,同时,过度使用还可能使颗粒变得异常坚硬,影响最终产品的品质。为了确定润湿剂的最佳添加量,通常采用“捏之成团、触之即散”这一原则作为指导^[23]。冲剂配方的优化基于感官评价,确保了产品的口感、气味和色泽良好。此外,对冲剂的流动性、水分含量、冲调温度、微生物变化和贮藏稳定性等进行了测定,所有检测指标均达到

了既定标准,这为产品的实际生产流程及其应用提供了坚实的依据。休止角的大小与颗粒直径和颗粒表面有关,粒径大小与休止角呈负相关,表面粗糙程度与休止角呈正相关,一般而言,若休止角小于或等于 30° ,则表明物料具有良好的流动性;当休止角小于或等于 40° 时,即可满足生产过程中对流动性的基本要求^[24]。

然而,本研究仅对灵芝多肽的提取和冲剂制备工艺进行了初步探索,对于灵芝多肽的生理活性和作用机制还需进一步深入研究。灵芝多肽属于小分子多肽,能够直接穿过肠道屏障,更容易在消化道中被吸收,发挥生物效应,具有良好的生物活性^[25]。未来可通过动物试验和临床试验,深入探究灵芝多肽在降血脂、降血压、抗氧化、调节免疫力等方面的功效,进一步为其在食品和医药行业的广泛应用奠定更加坚实的理论基础。

4 结论

本研究经过一系列优化过程,确定了超声波辅助酶解法在提取灵芝多肽时的最佳工艺参数,即料液比 1:50、反应时间 2.0 h、反应温度 60°C 、加酶量 $6\,000\text{ U}\cdot\text{g}^{-1}$,此时提取率达到 22.5%。灵芝多肽冲剂的最佳配方为糊精 20%、淀粉 25%、柠檬酸 0.3%、蔗糖 6%,该冲剂具有良好的流动性、水分含量符合药典要求、冲调温度适宜、微生物稳定性和贮藏稳定性良好。本研究为灵芝多肽的提取和产品制备提供了参考依据,但灵芝多肽的生理活性和应用仍需进一步深入研究。

参考文献:

- [1] 刘柱,赵厚坤.浅谈灵芝的药用和食用价值[J].现代农业科学,2008(6):45-46.
- [2] 张静,梁好,赵丹丹,等.灵芝多糖提取技术研究进展[J].食品安全导刊,2024(22):158-160.
- [3] 李杰,蔡嘉慧,王慧中,等.药用植物基因组测序及功能基因组学研究进展[J].杭州师范大学学报(自然科学版),2021,20(4):364-373,397.
- [4] 李学龙,李跃,张鹏,等.不同灵芝菌株主要农艺性状及活性成分比较分析[J].北方园艺,2022(13):119-125.
- [5] 盛立柱,谢良明,叶晓菊,等.8个灵芝菌株农艺性状、产量及有效成分比较分析[J].中国食用菌,2022,41(1):70-75.
- [6] 林冬梅,罗虹建,林树钱,等.不同菌草基质栽培灵芝多指标质量评价[J].福建农业学报,2022,37(12):1579-1585.
- [7] 黄佳,王浩锦,伍强,等.灵芝活性蛋白和多肽研究进展及展望[J].菌物研究,2022,20(2):79-86,76.
- [8] 姜晓娜,李刚,李翔.灵芝在化妆品中的应用和发展趋势[J].中国食用菌,2019,38(3):1-5.
- [9] 李小静,黄虎,陶侃,等.生物活性多肽在美容护肤领域应用及技术研究进展[J].中国化妆品,2023(3):116-121.
- [10] NONAKA Y, SHIBATA H, NAKAI M, et al. Antitumor activities of the antlered form of *Ganoderma lucidum* in allogeneic and syngeneic tumor-bearing mice[J]. Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry, 2006, 70(9): 2028-2034.
- [11] MA H T, HSIEH J F, CHEN S T. Anti-diabetic effects of *Ganoderma lucidum*[J]. Phytochemistry, 2015, 114: 109-113.
- [12] ALI TRIHARTANTO M, SARGOWO D, WIDODO M A, et al. Effect of antioxidant and anti inflammation on subchronic toxicity administration of *Ganoderma lucidum* target organ kidney in cardiovascular diseases[J]. Journal of Hypertension, 2015, 33(S2): e37-e38.
- [13] 严来喜,徐春生.灵芝提取物及其在牙膏中的应用[J].口腔护理用品工业,2024,34(1):4-7.
- [14] KAMAL H, LE C F, SALTER A M, et al. Extraction of protein from food waste: an overview of current status and opportunities[J]. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2021, 20(3): 2455-2475.
- [15] POJIC M, MIŠAN A, TIWARI B. Eco-innovative technologies for extraction of proteins for human consumption from renewable protein sources of plant origin[J]. Trends in Food Science & Technology, 2018, 75: 93-104.
- [16] 张书会,罗璐,孙雪言,等.虎奶菇菌丝体抗菌肽提取工艺优化及活性研究[J].食品与机械,2022,38(8):158-165.
- [17] 赖玉萍,林锦铭,安苗青,等.美藤果粕多肽的提取工艺优化[J].食品研究与开发,2023,44(20):167-174.
- [18] 杨国辉,魏丽娟,张沛,等.枯草芽孢杆菌发酵产大豆多肽工艺条件研究[J].饲料广角,2017(9):36-39.
- [19] 季瑞雪,包鸿慧,何泽良,等.榛蘑多糖颗粒冲剂的研制[J].黑龙江八一农垦大学学报,2020,32(3):44-49,68.
- [20] 赵换维.杏鲍菇多肽制备工艺及体外活性研究[D].西安:西北大学,2019.
- [21] 徐向秀.林蛙油多肽冲剂的制备研究[D].长春:吉林大学,2014.
- [22] 基于多指标考察桑白皮配方颗粒的制备工艺及质量评价[J].宿州学院学报,2024,39(6):39-44.
- [23] 张玉.三豆饮颗粒剂的制备工艺研究[D].哈尔滨:哈尔滨商业大学,2024.
- [24] 韦雪.牡蛎酶解产物促泌乳功效评价及复合催乳颗粒冲剂产品研发[D].湛江:广东海洋大学,2023.
- [25] WANG Z J, ZHANG X W. Isolation and identification of anti-proliferative peptides from *Spirulina platensis* using three-step hydrolysis[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2017, 97(3): 918-922.

Research on Extraction of *Ganoderma lucidum* Polypeptides and Preparation Process of Granules

LIN Hua¹, JIN Haiqiang¹, JIANG Yinji¹, JIN Meiyu¹, WANG Ting¹, JIN Xing'ai¹, YIN Hua², CHE Chenglai¹

(1. Agricultural Products Processing Research Institute, Yanbian Korean Autonomous Prefecture Academy of Agricultural Sciences, Yanji 133000, China; 2. Longjing People's Hospital, Longjing 133400, China)

Abstract: In order to explore the optimal process parameters for ultrasonic assisted enzymatic hydrolysis in extracting *Ganoderma lucidum* peptides, promote the extraction of *G. lucidum* peptides and the industrial production of corresponding products, the extraction of *G. lucidum* peptides and the preparation process of *G. lucidum* peptide granules were studied with the peptide extraction amount as the reference index. Firstly, a single factor experiment was conducted, and then an orthogonal experimental design was used to optimize the process conditions for extracting *G. lucidum* peptides by combining ultrasonic and enzymatic methods, and further explore the formula of *G. lucidum* peptide granules. The results showed that through optimization, we determined the optimal extraction process parameters for *G. lucidum* peptides: a solid-liquid ratio of 1:50, a reaction time of 2 hours, a reaction temperature of 60 °C, and an enzyme dosage of 6 000 U·g⁻¹. In addition, we have also determined the optimal ratio for the formula of *G. lucidum* peptide granules, with dextrin accounting for 20%, starch accounting for 25%, citric acid accounting for 0.3%, and sucrose accounting for 6%.

Keywords: *Ganoderma lucidum* fruiting body; active peptides; enzymatic hydrolysis method; extraction; optimal conditions

协办单位

- 黑龙江省作物学会
- 黑龙江省农业科学院水稻研究所
- 黑龙江省农业科学院克山分院
- 黑龙江省农业科学院黑河分院
- 黑龙江省农业科学院绥化分院
- 黑龙江省农业科学院佳木斯分院
- 黑龙江省农业科学院牡丹江分院