

秀珍菇鲜味菇液酶解制备工艺优化

Study on the optimum enzymatic hydrolysis technology of *Pleurotus geesteranus* mushroom solution

方若思^{1,2,3} 吴安琰^{1,2,3} 顾宇婷^{1,2,3} 陈咨豪^{1,2,3} 李 坚^{1,2,3}

FANG Ruo-si^{1,2,3} WU An-yan^{1,2,3} GU Yu-ting^{1,2,3} CHEN Zi-hao^{1,2,3} LI Jian^{1,2,3}

项雅丽^{1,2,3} 楚秉泉^{1,2,3} 肖功年^{1,2,3}

XIANG Ya-li^{1,2,3} CHU Bing-quan^{1,2,3} XIAO Gong-nian^{1,2,3}

刘士旺^{1,2,3} 龚金炎^{1,2,3}

LIU Shi-wang^{1,2,3} GONG Jin-yan^{1,2,3}

(1. 浙江科技学院生物与化学工程学院, 浙江 杭州 310023; 2. 浙江省农产品化学与生物加工技术重点试验室, 浙江 杭州 310023; 3. 浙江省农业生物资源生化制造协同创新中心, 浙江 杭州 310023)

(1. School of Biological and Chemical Engineering, Zhejiang University of Science and Technology, Hangzhou, Zhejiang 310023, China; 2. Zhejiang Provincial Key Laboratory of Chemical and Biological Processing Technology of Farm Products, Hangzhou, Zhejiang 310023, China; 3. Zhejiang Provincial Collaborative Innovation Center of Agricultural Biological Resources Biochemical Manufacturing, Hangzhou, Zhejiang 310023, China)

摘要:以秀珍菇等 4 种干燥食用菌为原料,研究了不同酶解条件对制备秀珍菇鲜味菇液的影响,并采用响应面方法优化酶解工艺。结果表明:酶解法制取秀珍菇鲜味菇液最优条件为蛋白酶酶解温度 42 ℃、蛋白酶 pH 7.30、纤维素酶量 0.10%,该条件下水解度为 18.510%。

关键词:秀珍菇;酶解;氨基酸;水解度

Abstract: Four kinds of dry edible fungi, including *Pleurotus geesteranus* mushroom, were used to study the effects of different enzymolysis conditions on the preparation of fresh mushroom solutions and the enzymatic hydrolysis processes were optimized by using response surface method. The results showed that the optimal enzymatic hydrolysis conditions were protease hydrolysis temperature 42 ℃, protease pH 7.30, and cellulase concentration 0.10%, and under this circumstance, the hydrolysis degree was 18.510%.

Keywords: mushroom; enzymatic hydrolysis; amino acid; hydro-

lytic degree

食用菌含有丰富的氨基酸等呈味物质,鲜味独特,因此调味料开发是其深加工的重要方向。国内外采用食用菌提取物提味增鲜,但工艺简单,食用菌来源单一^[1]。秀珍菇脂肪含量较低,蛋白质含量丰富,氨基酸种类齐全,其中必需氨基酸含量在 35% 以上^[2-3],还含有活性多糖、黄酮等成分^[4-6]。但关于酶解法提取秀珍菇有效成分的工艺研究较少,陈雅平等^[7]以氨基酸利用率为主要评价指标酶解秀珍菇,通过单因素试验和正交试验,最佳酶解条件为复合风味酶用量 0.5%,酶解时间 120 min,酶解温度 50 ℃,pH 值 8.5,秀珍菇氨基酸利用率为 27.9%;李佳佳等^[8]以秀珍菇干粉为原料,利用生物酶解和美拉德反应技术制备具有菌菇特征风味的调味核心基料,以还原糖含量和挥发性风味物质为指标,确定纤维素酶和中性蛋白酶的最佳酶解条件,在此条件下制备的秀珍菇酶解液水解度为 13.75%。利用秀珍菇与其他菌类复配的食用菌调味菇液的研究则未见报道,国外研究主要集中在秀珍菇的主要功能及相关生物活性、营养成分的鉴定分离纯化及开发等方面^[8-9];而国内研究则主要集中在生物学特性、褐变保鲜、功能成分提取及活性等方面^[10-11]。

海鲜菇是一种药食两用的珍稀菌^[12-13],氨基酸含量丰富,含有对人体有益的黄酮和酚类等营养成分,具有抗

基金项目:国家自然科学基金资助项目(编号:31871763);浙江省重大科技专项重点农业项目(编号:2015C02053);浙江省自然科学基金项目(编号:LQ18C200003);国家大学生创新创业训练计划项目(编号:201711057016);浙江省大学生科技创新活动计划(编号:2018R415014)

作者简介:方若思,女,浙江科技学院讲师,博士。

通信作者:龚金炎(1982—),男,浙江科技学院副教授,博士。

E-mail:gongjinyan1982@163.com

收稿日期:2019-02-08

炎症、抗氧化等功能^[14-16]。香菇营养丰富,含有如多糖、香菇嘌呤、氨基酸等多种有效成分,香菇多糖的抗病毒,抗肿瘤以及调节免疫功能突出^[17]。灰树花味道鲜美,营养丰富,抗肿瘤多糖、多酚、酮类和甾类的含量可观,具有抗肿瘤、免疫调节、平衡营养成分等特殊药理作用^[18-19]。

为均衡营养、提高活性成分含量,协调不同食用菌的功能,本试验拟以秀珍菇为主要原料,辅以海鲜菇、香菇和灰树花 3 种食用菌,探索不同配比的食用菌在纤维素酶和蛋白酶复配的酶解条件下,优化制取高氨基酸含量的食用菌调味菇液的工艺条件,以期秀珍菇等食用菌综合开发利用提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

1.1.1 原料

秀珍菇、海鲜菇、香菇、灰树花:缙云县珍稀食用菌专业合作社提供;

秀珍菇、海鲜菇、香菇、灰树花在 50~70℃ 下烘干 8 h、磨成粉末,装在封口袋中放置于阴凉干燥处保存。

1.1.2 试剂

抗坏血酸:生物试剂,纯度>98%,广东省化学试剂工程技术研究开发中心;

茚三酮:生物试剂,纯度>98%,国药集团化学试剂有限公司;

醋酸、正丙醇、正丁醇、乙二醇:分析纯,上海凌峰化学试剂有限公司;

硫酸:分析纯,衢州巨化试剂有限公司。

1.2 仪器与设备

高速离心机: TG18K 型,长沙东旺实验仪器有限公司;

高速多功能粉碎机: RHP-600 型,浙江荣浩工贸有限公司;

凯氏定氮仪: UDK 159 型,上海人和科学仪器有限公司;

电热鼓风干燥箱: GZX-9076 MBE 型,上海博迅实业有限公司医疗设备厂;

紫外可见分光光度计: UV 5500PC 型,上海元析仪器有限公司。

1.3 方法

1.3.1 工艺流程

各食用菌按比例混合→加水溶解→调节 pH→纤维素酶酶解 4 h→调节 pH→蛋白酶酶解→灭酶→离心→鲜味菇液

1.3.2 食用菌蛋白质含量测定 凯氏定氮法。参照 GB/T 5009.5—2003《食品中蛋白质的测定》,采用 VELP UDK159 自动定氮仪测定。

1.3.3 酶解工艺的优化

(1) 食用菌配伍比例:取 3.333 g(料液比 1:15 g/mL)不同食用菌配伍比(见表 1)食用菌干粉,加入 50 mL 去离子水充分溶解,调节 pH 至 5.0,加入 0.04% 纤维素酶,摇匀,于 50℃ 水浴酶解 4 h,调节 pH 至 7.0,加入 0.1% 蛋白酶,摇匀,再置于 50℃ 水浴酶解 5 h。酶解结束后,水解液在 100℃ 下加热灭酶 10 min,7 000 r/min 离心 15 min,取适量上清液 20 倍稀释后备用。

表 1 食用菌配伍质量比例
Table 1 Compatibility quality ratio of edible fungi

名称	秀珍菇	香菇	海鲜菇	灰树花
配方 1	4	4	1.0	1.0
配方 2	4	3	2.0	1.0
配方 3	4	2	3.0	1.0
配方 4	5	3	1.5	0.5
配方 5	5	3	1.0	1.0
配方 6	5	2	2.0	1.0
配方 7	6	3	0.5	0.5
配方 8	6	2	1.0	1.0
配方 9	6	2	1.5	0.5

(2) 料液比:取秀珍菇:香菇:海鲜菇:灰树花质量比为 5:3:1:1 的食用菌干粉,以料液比 1:10,1:15,1:20,1:25 (g/mL),按 1.3.2(1)所示方法,考察料液比对水解度的影响。

(3) 蛋白酶酶解温度:取秀珍菇:香菇:海鲜菇:灰树花质量比为 5:3:1:1 的食用菌干粉,按 1.3.2(1)所示方法,加入蛋白酶摇匀后,分别于 30,35,40,45,50,55℃ 的水浴酶解 5 h,考察蛋白酶酶解温度对水解度的影响。

(4) 蛋白酶酶解时间:取秀珍菇:香菇:海鲜菇:灰树花质量比为 5:3:1:1 的食用菌干粉,按 1.3.2(1)所示方法,加入蛋白酶摇匀后,分别于 50℃ 水浴酶解 0.5,1.0,3.0,5.0,7.0 h,考察蛋白酶酶解时间对水解度的影响。

(5) 纤维素酶酶解 pH 值:取秀珍菇:香菇:海鲜菇:灰树花质量比为 5:3:1:1 的食用菌干粉,分别调节纤维素酶酶解 pH 至 4.0,4.5,5.0,5.5,6.0,6.5,7.0,按 1.3.2(1)所示方法,考察纤维素酶酶解 pH 值对水解度的影响。

(6) 蛋白酶酶解 pH 值:取秀珍菇:香菇:海鲜菇:灰树花质量比为 5:3:1:1 的食用菌干粉,加入 50 mL 去离子水充分溶解,调节 pH 至 5.0,加入 0.021 3 g 纤维素酶,摇匀,于 50℃ 水浴酶解 4 h,分别调节 pH 至 6.0,6.5,7.0,7.5,8.0,加入 0.053 3 g 蛋白酶,摇匀,于 50℃ 水浴酶解 5 h。随后加热灭酶并离心,取适量上清液 20 倍

稀释后备用。

(7) 纤维素酶添加量:取秀珍菇:香菇:海鲜菇:灰树花质量比为 5:3:1:1 的食用菌干粉,按 1.3.2(1)所示方法,分别加入 0.02%,0.04%,0.10%,0.20%,0.40% 纤维素酶,考察纤维素酶添加量对水解度的影响。

(8) 蛋白酶添加量:取秀珍菇:香菇:海鲜菇:灰树花质量比为 5:3:1:1 的食用菌干粉,按 1.3.2(1)所示方法,分别加入 0.02%,0.04%,0.10%,0.20%,0.40% 蛋白酶,摇匀,考察蛋白酶添加量对水解度的影响。

1.3.4 测定项目及方法

(1) 游离 α -氨基态氮测定:取待测液 1.0 mL,去离子水 1 mL,水合茚三酮 3.0 mL (0.6 g 重结晶的茚三酮用 15 mL 正丙醇、30 mL 正丁醇、60 mL 乙二醇及 9 mL pH 4.54 的醋酸盐缓冲液溶解),0.1% 抗坏血酸溶液 0.1 mL,混匀,封口。沸水浴加热 15 min 后冷却,加入 14.9 mL 的 60% 乙醇溶液,摇匀,于 570 nm 测定吸光度。

标准曲线的绘制:分别取 5 $\mu\text{g/mL}$ 精氨酸氨基酸标准溶液 0.0,0.2,0.4,0.6,0.8,1.0 mL 至 6 个 25 mL 容量瓶中,分别加水补充至 2.0 mL,加水合茚三酮 3.0 mL,加抗坏血酸溶液 0.1 mL (质量分数 0.1%),混匀,封口,在沸水浴中加热 15 min,取出用冷水快速冷却至室温,定容,摇匀,静置 15 min,加入 14.9 mL 的 60% 乙醇溶液,摇匀,于 570 nm 波长下,以空白试剂为参比测定各溶液吸光度 A ,以氨基酸质量浓度为横坐标,吸光度 A 为纵坐标,绘制标准曲线。

(2) 水解度的测定:水解度指游离 α -氨基态氮占总氮的百分比,按式(1)计算:

$$c = \frac{m_1}{m_2} \times 100\%, \quad (1)$$

式中:

c ——水解度,%;

m_1 ——游离 α -氨基态氮质量,g;

m_2 ——总氮质量,g。

2 结果与分析

2.1 食用菌蛋白质含量测定

由表 2 可知:秀珍菇蛋白质含量(19.958 g/100 g)最高,其次为灰树花(蛋白质含量约 14.128 g/100 g),再次为海鲜菇(蛋白质含量为 12.852 g/100 g),香菇蛋白质含量最低(12.719 g/100 g)。因此,选择以秀珍菇为主要原料,配合香菇、海鲜菇和灰树花的食用菌干粉为研究对象。

2.2 游离 α -氨基氮标准曲线的绘制

以精氨酸标准液质量为横坐标,吸光值为纵坐标,绘制得到的标准曲线,回归方程为 $y=0.037\ 3x-0.009\ 3$,相关系数为 $R^2=0.989\ 9$,结果如图 1 所示。

表 2 各菌菇的含氮量及蛋白质含量(干基)

Table 2 Nitrogen and protein content of different mushrooms g/100 g

菌菇	含氮量	蛋白质含量
秀珍菇	3.193	19.958
香菇	2.035	12.719
海鲜菇	2.056	12.852
灰树花	2.261	14.128

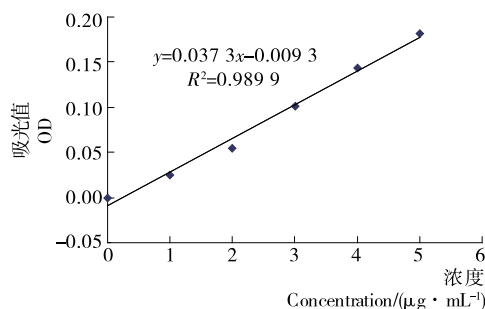


图 1 α -氨基氮标准曲线

Figure 1 Standard curve of α -amino nitrogen

2.2 单因素最佳酶解条件确定

2.2.1 食用菌配伍比例对水解度的影响 蛋白质含量高的菌菇,其组分含量越高,水解度就越大,秀珍菇的蛋白质含量最大。由图 2 可以看出:随着秀珍菇组分含量的升高,水解度增大,秀珍菇:香菇:海鲜菇:灰树花=6.0:3.0:0.5:0.5 时,水解度达到最大值为 16.987%,此时氨基酸占总氮含量的比重最大,说明在该条件下,酶解产生的游离氨基酸含量最高。因此,确定该配比为最佳配比。

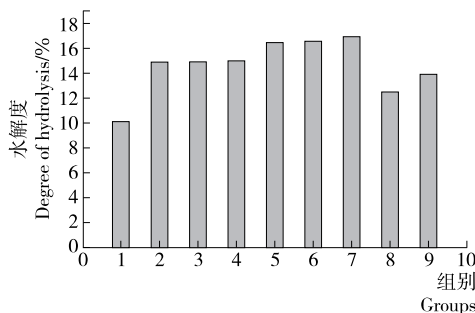


图 2 组分比对水解度的影响

Figure 2 Effect of component ratio on hydrolysis degree

2.2.2 料液比对水解度的影响 由图 3 可知:当料液比为 1:15(g/mL)时,水解度达到最大值为 16.463%,此时氨基酸占总氮含量的比重最大,说明在该条件下,酶解产生的游离氨基酸含量最高。因此,确定该料液比为最佳。

2.2.3 蛋白酶酶解温度对水解度的影响 蛋白酶酶解温度是影响蛋白酶活性的重要因素。如图 4 所示,在 30~40 $^{\circ}\text{C}$ 时水解度随着温度的升高而大幅增大,温度达到

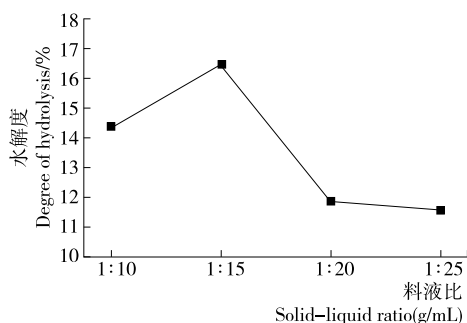


图 3 料液比对水解度的影响

Figure 3 Effect of material liquid ratio on hydrolysis degree

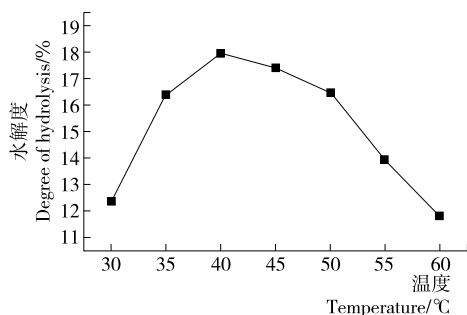


图 4 蛋白酶酶解温度对水解度的影响

Figure 4 Effect of protease hydrolysis temperature on hydrolysis degree

40 °C 时样品蛋白质的水解度达到最大值 17.939%，当温度从 40 °C 继续上升到 60 °C 时水解度逐渐下降，酶解温度对水解度的影响较大。因此，选定 40 °C 为蛋白酶酶解的最适温度，进入下一步试验。

2.2.4 蛋白酶酶解时间对水解度的影响 由图 5 可知，酶解 0.5~5.0 h 时，随时间的延长，水解度逐渐增大，且在 3~5 h 时增幅最大，酶解 5 h 后增幅减缓。故后续试验选择蛋白酶酶解时间为 5 h。

2.2.5 纤维素酶酶解 pH 值对水解度的影响 pH 值可影响底物和纤维素酶的稳定性。由图 6 可知：随着 pH 的增大，水解度逐渐增大，当 pH 达到 5.5 时水解度达到最

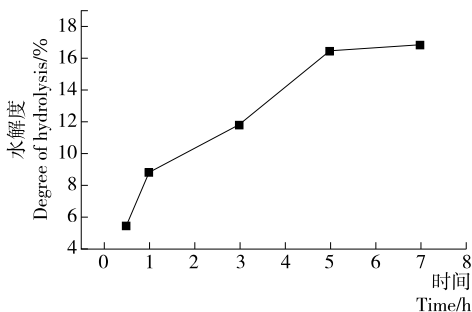


图 5 蛋白酶酶解时间对水解度的影响

Figure 5 Effect of protease enzyme hydrolysis time on hydrolysis degree

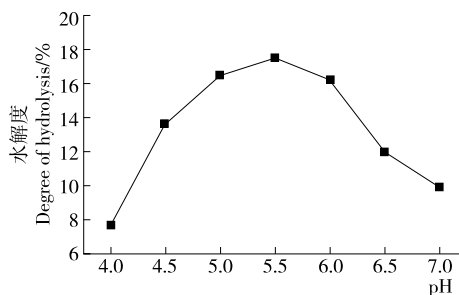


图 6 纤维素酶酶解 pH 值对水解度的影响

Figure 6 Effect of cellulase hydrolysis pH value on hydrolysis degree

大值 17.470%，之后水解度呈现明显的下降趋势。因此，选择纤维素酶酶解 pH 为 5.5 为最佳。

2.2.6 蛋白酶酶解 pH 值对水解度的影响 由图 7 可知，随着 pH 的增大，水解度逐渐增大，当 pH 达到 7.5 时水解度达到最大值，之后水解度呈现明显的下降趋势。因此，后续试验选择蛋白酶酶解 pH 为 7.5。

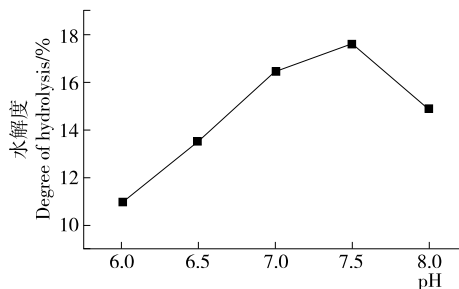


图 7 蛋白酶酶解 pH 值对水解度的影响

Figure 7 Effect of protease hydrolysis pH value on hydrolysis degree

2.2.7 纤维素酶添加量对水解度的影响 如图 8 所示，当底物含量较高时，酶促反应速度与酶含量呈正比，纤维素酶添加量在 0.02%~0.10% 时，水解度大幅增加，而在 0.10%~0.40% 时水解度有减小的趋势，原因有两个：① 当酶添加量达到 0.1% 以后，水解产生的产物可能对酶活有抑制作用；② 大部分底物已被反应消耗。所以最适

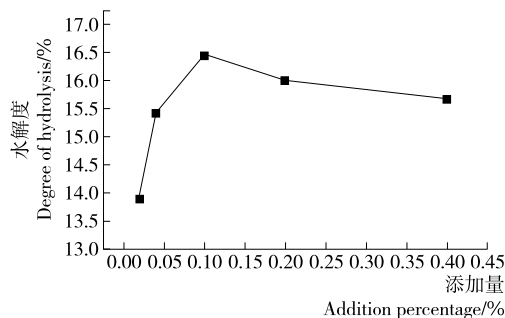


图 8 纤维素酶添加量对水解度的影响

Figure 8 Effect of cellulase addition on hydrolysis degree

纤维素酶添加量为 0.10%。

2.2.8 蛋白酶添加量对水解度的影响 从图 9 可以看出:当蛋白酶添加量从 0.02%增加到 0.10%时,酶促反应速率大大增加,水解度大幅增加。当蛋白酶添加量从 0.10% 增加到 0.40%时,虽然酶促反应速率继续增大,但底物物料有限,几乎被完全水解,所以水解度趋于平稳。因此,选择 0.10%为最适蛋白酶添加量。

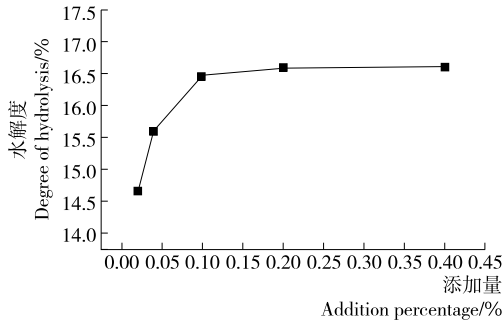


图 9 蛋白酶添加量对水解度的影响
Figure 9 Effect of protease addition on hydrolysis degree

2.3 响应面法优化最佳酶解工艺

2.3.1 模型的建立及显著性检验 在单因素试验的基础上,选取对水解度影响较大的蛋白酶酶解温度、纤维素酶添加量和蛋白酶酶解 pH 值等 3 个影响因子,其他因素选取单因素试验最佳条件,采用三因素三水平的响应曲面分析方法进行酶解条件的优化,其因素水平编码见表 3,试验因素与水平设计见表 4。软件分析得到水解度对以上 3 个因素的二次多项回归模型为:

$$DH = -437.710\ 18 + 5.471\ 63A + 31.909\ 13B + 93.122\ 27C + 0.959\ 53AB - 0.044\ 06AC + 5.580\ 96BC - 0.062\ 499A^2 - 505.540\ 58B^2 - 6.298\ 88C^2.$$
 (2)

对该模型进行方差分析,结果见表 5。由表 5 可知:模型具有极显著性,根据 R^2 和 R^2_{Adj} 的数值,可知回归方程拟合度和可信度很高,试验误差较小,故可用此模型对秀珍菇等的酶解工艺结果进行分析和预测。

2.3.2 响应曲面分析与优化 由图 9 可以看出,随着纤维素酶量从 0.05%增加到 0.11%和蛋白酶酶解温度从 35℃ 上升到 42℃ 的过程中,水解度上升变化明显;继续提高纤维素酶添加量和蛋白酶酶解温度,水解度开始下

表 3 因素水平编码表

Table 3 Factor level coding table			
水平	A 蛋白酶酶解 温度/℃	B 纤维素酶 添加量/%	C 蛋白酶酶解 pH 值
-1	35	0.05	7.0
0	40	0.10	7.5
1	45	0.15	8.0

表 4 纤维素酶和蛋白酶酶解条件的响应面
优化方案与结果

Table 4 Response surface optimization scheme and results of cellulase and neutral protease hydrolysis conditions

组别	A	B	C	DH/%
1	0	0	0	18.416
2	0	0	0	17.802
3	0	0	0	18.357
4	1	0	-1	17.682
5	-1	-1	0	14.382
6	0	1	1	14.745
7	1	0	1	15.391
8	-1	1	0	14.568
9	0	-1	-1	16.262
10	0	-1	1	12.923
11	0	1	-1	17.525
12	1	1	0	16.850
13	-1	0	1	12.669
14	0	0	0	18.534
15	0	0	0	17.902
16	-1	0	-1	14.519
17	1	-1	0	15.704

表 5 响应曲面二次回归方程模型方差分析结果[†]

Table 5 Results of variance analysis of two regression equation model of response surface

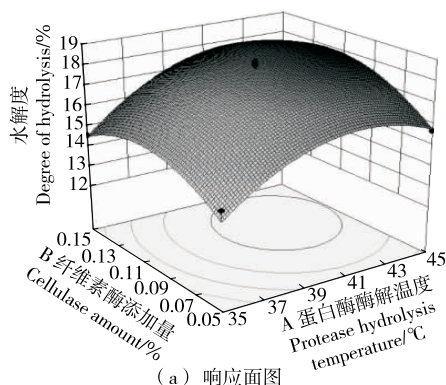
方差来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值	显著性
模型	57.84	9	6.43	23.03	<0.000 2	极显著
A	11.25	1	11.25	40.33	0.000 4	
B	2.44	1	2.44	8.74	0.021 2	
C	13.16	1	13.16	47.17	0.000 2	
AB	0.23	1	0.23	0.82	0.393 9	
AC	0.05	1	0.05	0.17	0.689 1	
BC	0.08	1	0.08	0.28	0.613 6	
A ²	10.28	1	10.28	36.84	0.000 5	
B ²	6.73	1	6.73	24.10	0.001 7	
C ²	10.44	1	10.44	37.42	0.000 5	
残差	1.95	7	0.28			
失拟项	1.52	3	0.51	4.73	0.083 8	不显著
纯误差	0.43	4	0.11			
总和	59.79	16				

[†] $R^2=0.967\ 3;R^2_{Adj}=0.925\ 3$ 。

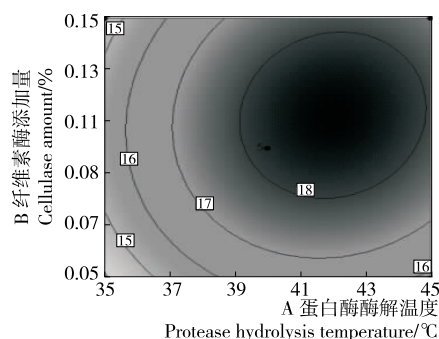
降。结合等高线图可以得出,等高线中的最小椭圆的中心点即是响应面的最高点,等高线形状呈椭圆形,表示 A 和 B 两因素交互作用较显著。由图 10 可以得出,蛋白酶

酶解温度和蛋白酶 pH 值曲线坡度大,说明这两个因素对水解度的影响变化很快。随着蛋白酶酶解温度从 35 ℃ 上升到 42 ℃ 和蛋白酶 pH 值从 7.0 上升到 7.4 的过程中,水解度上升变化明显;继续提高蛋白酶酶解温度,水解度上升变化不明显;而继续提高蛋白酶 pH 值,水解度急剧下降,表明蛋白酶对 pH 变化较敏感且其最适宜 pH 为 7.2~7.4。结合等高线图可以得出,等高线中的最小椭圆的中心点即是响应面的最高点,等高线形状呈椭圆形,表

示 A 和 C 两因素交互作用较显著。由图 11 以发现,蛋白酶 pH 值曲线比纤维素酶添加量曲线变化更大,说明蛋白酶 pH 值对水解度的影响更为显著。随着纤维素酶添加量从 0.05% 上升到 0.11% 和蛋白酶 pH 值从 7.0 上升到 7.4 的过程中,水解度平稳上升;继续提高纤维素酶添加量和蛋白酶 pH 值,水解度呈现下降趋势。结合等高线图可以发现,等高线图形呈明显的椭圆形,表明 B 和 C 两因素交互作用显著。



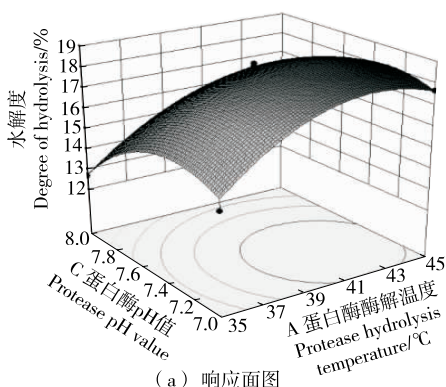
(a) 响应面图



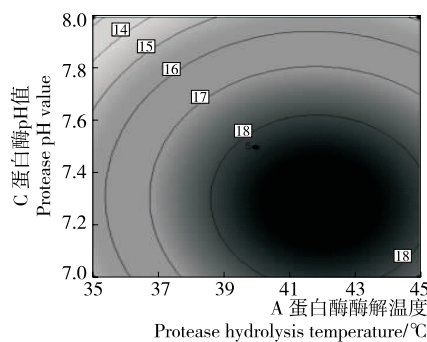
(b) 等高线图

图 10 蛋白酶酶解温度和纤维素酶添加量对水解度的影响

Figure 10 Effect of enzyme hydrolysis temperature and cellulase quantity on hydrolysis degree



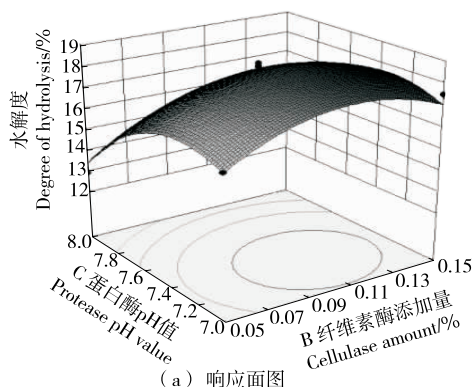
(a) 响应面图



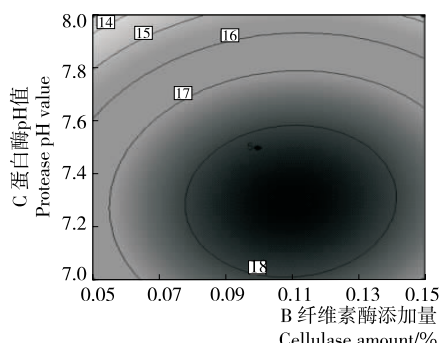
(b) 等高线图

图 11 蛋白酶酶解温度和酶解 pH 值对水解度的影响

Figure 11 Effect of temperature and pH value on hydrolysis degree



(a) 响应面图



(b) 等高线图

图 12 纤维素酶添加量和蛋白酶酶解 pH 值对水解度的影响

Figure 12 Effect of cellulase quantity and pH value on hydrolysis degree

结合P值可知:模型的一次项A和C极显著,二次项 A^2 和 C^2 极显著, B^2 显著表明各因素对水解度的影响不是简单的线性关系。该模型下得到最佳工艺参数为蛋白酶酶解温度42.06℃、蛋白酶pH7.29、纤维素酶添加量0.11%,此时水解度为18.775%。结合实际,调整各因素为蛋白酶酶解温度42℃、蛋白酶pH7.30、纤维素酶添加量0.10%,此时水解度为18.510%,与预测值相差为1.41%,证明了该模型的可靠性。

3 结论

本试验结果表明,制取高氨基酸含量的最优酶解工艺条件为蛋白酶酶解温度42℃、蛋白酶pH7.30、纤维素酶添加量0.10%,此时水解度为18.510%。

多种食用菌复配结合制备鲜菇菌液的方式,不仅有利于协调不同食用菌的氨基酸,同时可以增加产品的功能性,为开发秀珍菇等食用菌深加工产品提供新思路,但是本研究还存在一些不足,虽然水解度比单一采用秀珍菇水解度高^[19],但仍有提高空间,这可能与所选取的食用菌种类有关,后续可以本研究作为基础,开发更多秀珍菇及其他菌类复合的深加工产品,提高氨基酸利用率,增进营养和保健功能。同时,进行单一菌菇酶解制备菇液,得到鲜味液体在气味上尚有不足;如果通过添加部分还原糖,进行美拉德反应,就能够满足气味上的要求。

参考文献

- [1] SILVA S, MARTINS S, KARMAI A, et al. Production, purification and characterisation of polysaccharides from *Pleurotus ostreatus* with antitumour activity[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2012, 92(9): 1 826-1 832.
- [2] 韩建东, 宫志远, 姚强, 等. 金针菇菌渣栽培秀珍菇的营养成分分析[J]. 中国食用菌, 2013, 32(6): 30-35.
- [3] 翁伯琦, 江枝和, 林勇. 不同培养料对秀珍菇子实体营养评价的影响[J]. 食用菌学报, 2002, 9(2): 10-13.
- [4] ZHANG Mei. Heating-induced conformational change of a novel β -(13)-D-glucan from *Pleurotus geestanus*[J]. Biopolymers, 2010, 93(2): 121-131.
- [5] ZHANG An-qiang, XU Mei, LI Fu, et al. Structural eluci-

dation of a novel mannogalactan isolated from the fruiting bodies of *Pleurotus geestanus*[J]. Carbohydrate Polymers, 2013, 92(1): 236-240.

- [6] RANOGAJEC A, BELUHAN S, SMIT Z. Analysis of nucleosides and monophosphate nucleotides from mushrooms with reversed phase HPLC[J]. Journal of Separation Science, 2010, 33(8): 1 024-1 033.
- [7] 陈雅平. 酶解法提取秀珍菇有效成分工艺的研究[J]. 农产品加工: 学刊, 2014(7): 33-34, 37.
- [8] 李佳佳. 秀珍菇水解物美拉德反应制备调味核心基料的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2017: 1-3.
- [9] 杨润亚, 李维焕, 吕芳芳. 秀珍菇子实体多糖的提取工艺优化及体外抗氧化性[J]. 食品与生物技术学报, 2012, 31(10): 1 093-1 099.
- [10] 张晓玉, 张博, 辛广, 等. 秀珍菇营养成分、生物活性及贮藏保鲜的研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2016, 7(6): 2 314-2 319.
- [11] 马洪艳, 白宝良. 秀珍菇栽培技术[J]. 北方园艺, 2014(13): 140-141.
- [12] 刘会军, 金国庆, 黄亮, 等. 海鲜菇工厂化瓶栽配方的优化[J]. 北方园艺, 2016(20): 142-145.
- [13] 盖钧. 作物育种学各论[M]. 北京: 中国农业出版社, 2006: 28-30.
- [14] 王耀松, 邢增涛. 白玉覃营养成分的测定[J]. 西北农业学报, 2006, 15(5): 222-224, 228.
- [15] 王丽, 罗红霞, 李淑荣, 等. 海鲜菇氨基酸组成分析及营养评价[J]. 食品工业科技, 2016, 37(21): 338-346.
- [16] BOLORMAA Z, KING M, SEO G, et al. Analysis of nutritional characteristics and physiological functionality of *hypsizygus marmoreus* [J]. The Korean Journal of Mycology, 2012, 40(2): 104-108.
- [17] 薛淑静, 李露, 周明, 等. 基于酶解改性的香菇柄菇松工艺研究[J]. 中国调味品, 2015, 40(12): 56-59.
- [18] 陈小平, 杨明华, 戴秀爱. 江山秀珍菇产业发展的现状与对策[J]. 食药用菌, 2015(2): 70-71.
- [19] 郁建强, 殷戎一, 黄丹枫, 等. 10个平菇品种的氨基酸分析及蛋白质营养价值比较研究[J]. 上海交通大学学报: 农业科学版, 1998(1): 75-78.

(上接第138页)

- [13] MAHMOUD G A, MOHAMED G A, BOTROS H W, et al. Combined effect of gamma radiation, hot water and sodium bicarbonate on quality and chemical constituents of stored mandarin fruits[J]. Archives of Phytopathology and Plant Protection, 2011, 44(11): 1 115-1 127.
- [14] ISMAIL O M, ABD EL-MONIEM E A A, ABD-ALLAH A S E, et al. Influence of some post-harvest treatments on guava fruits[J]. Agriculture & Biology Journal of North America, 2010, 1(6): 1 309-1 318.
- [15] 雷庆, 黄敏, 康菊, 等. 电子束辐照草莓保鲜效果研究[J].

核农学报, 2011, 25(3): 510-513.

- [16] ORNELAS-PAZ J J, MEZA M B, OBENLAND D, et al. Effect of phytosanitary irradiation on the postharvest quality of Seedless Kishu mandarins (*Citrus kinokuni mukakukishu*)[J]. Food Chemistry, 2017, 230: 712-720.
- [17] 万春鹏, 陈楚英, 陈明, 等. 肉桂提取物对赣南脐橙的保鲜效果[J]. 食品工业科技, 2015, 36(17): 317-321.
- [18] FARKAS J. Irradiation for better foods[J]. Trends in Food Science & Technology, 2006, 17(4): 148-152.
- [19] 邓利珍, 刘可, 冷飞凡, 等. 川芎提取液对脐橙的防腐保鲜效果[J]. 农业工程学报, 2016, 32(7): 296-302.