

美味牛肝菌风味沙拉酱的研制

罗晓莉^{1,2}, 张沙沙^{1,2}, 曹晶晶², 毛玲², 张微思^{1,2,*}

(1. 云南省供销合作社科学研究所, 云南昆明 650221;

2. 云南省食用菌工程技术研究中心(云南云菌科技(集团)有限公司), 云南昆明 650221)

摘要: 为进一步丰富美味牛肝菌的加工产品类型, 提高原料利用率和加工附加值, 实现牛肝菌资源的综合利用, 本文以美味牛肝菌的残次菇、杀青水等加工副产物为主要原料, 添加食盐、胡椒粉等辅料研制美味牛肝菌风味沙拉酱。对影响沙拉酱产品质量、风味的主要因素进行了单因素和正交实验优化。以感官评分为指标, 最终确定了美味牛肝菌风味沙拉酱的最佳配方为: 蛋黄酱 200 g, 美味牛肝菌粉 33.3 g, 美味牛肝菌酶解液 15 g, 美味牛肝菌杀青水浓缩液 15 g, 食盐 4 g, 黑胡椒粉 1.3 g。应用该配方加工的沙拉酱, 味道鲜美、组织细腻, 整体品质最佳。

关键词: 美味牛肝菌, 沙拉酱, 最佳配方

Study on the technique of *Boletus edulis* Bull. flavor salad dressing

LUO Xiao-li^{1,2}, ZHANG Sha-sha^{1,2}, CAO Jing-jing², MAO Ling², ZHANG Wei-si^{1,2,*}

(1. Yunnan Provincial Federation of Supply and Marketing Cooperatives, Kunming 650221, China;

2. Engineering Technology Research Center of Edible Fungi in Yunnan Province

(Yunnan Yunjun Sci-Tech group Co., Ltd.), Kunming 650221, China)

Abstract: In order to enrich product types of *Boletus edulis* Bull., improve raw material utilization and value-added, and achieve comprehensive utilization of *Boletus edulis* Bull. The method of orthogonal experiments were used to investigate the defective mushroom of *Boletus edulis* Bull., salt and pepper on the product quality and flavor of *Boletus edulis* Bull. The best formula was determined by orthogonal experiment: mayonnaise 200 g, *Boletus edulis* Bull. powder 33.3 g, enzymatic hydrolysates of *Boletus edulis* Bull. 15 g, salting water concentrates of *Boletus edulis* Bull. 15 g, salt 4 g, pepper 1.3 g. This salad is delicious and delicate texture. The overall quality is the best.

Key words: *Boletus edulis* Bull.; salad; best formula

中图分类号: TS264.9

文献标识码: B

文章编号: 1002-0306(2017)03-0206-05

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2017.03.031

美味牛肝菌(*Boletus edulis* Bull.) 属于担子菌门、伞菌纲、牛肝菌目、牛肝菌科、牛肝菌属, 主要分布于我国云南、四川、河南、西藏、内蒙古、福建等地区^[1], 别名白牛肝、大脚菇, 是一种富含蛋白质、多糖、维生素、矿物质等物质, 营养丰富、味道鲜美的名贵珍稀野生食用菌, 具有很高的营养价值和药用价值, 深受人们喜爱。目前美味牛肝菌的加工产品类型很少, 以鲜品、速冻品、干品和罐头制品 4 大类为主, 有少量即食食品。随着人民生活水平的提高和科技的进步, 对食用菌产品多样化需求逐渐增加。

传统沙拉酱是以植物油、水、蛋黄、食醋为主要原料, 再加上调味料和香辛料等经调制乳化而成的一种粘稠状半固体食品^[2]。沙拉酱作为一种西式调味品, 以其特殊的风味日益受到消费者的青睐。但由于传统沙拉酱的主要原料是植物油和鸡蛋黄, 存

在“高脂肪、高热量、高胆固醇”问题, 已经引起了人们的普遍关注。随着人们对健康食品需求的日益增多, 开发低脂健康型风味沙拉酱成为必然。本研究将美味牛肝菌这种营养价值极高的野生食用菌的残次菇、菇柄、杀青水等加工副产物作为沙拉酱的主原料之一, 在降低油脂含量的基础上, 赋予传统沙拉酱以特殊风味, 开发一种营养、风味口感俱佳, 并比传统沙拉酱更具有低脂特性的美味牛肝菌风味沙拉酱, 这对于沙拉酱的发展具有重要意义。

在食用菌生产加工过程中, 不可避免地产生大量的残次菇、菇柄、杀青水等加工副产物。残次菇及菇柄中含有的营养成分与优质菇没有本质区别; 在现代加工食用菌技术过程中, 食用菌杀青后的水基本没有充分利用, 在对食用菌杀青过程中, 许多营养成分会流失到水中, 导致杀青水中富含丰富的营养

收稿日期: 2016-08-04

作者简介: 罗晓莉(1981-), 女, 硕士, 副研究员, 研究方向: 食用菌贮藏与加工, E-mail: lxiaoli81@163.com。

* 通讯作者: 张微思(1982-), 男, 硕士, 副研究员, 研究方向: 食用菌, E-mail: zws82@126.com。

基金项目: 云南省科技创新平台建设计划科研院所技术开发项目(2015DC005); 云南省科技人才和平台计划(2016DH009); 云南省科技厅科技人才计划(2008OC008)。

物质^[3]; 而将食用菌下脚料提取液进行酶解, 能显著提高溶液中呈味氨基酸和核苷酸的含量, 使其提取液的鲜味显著增强^[4]。郭磊^[5]等人研究发现, 美味牛肝菌通过酶解得到的水解液富含多种营养物质, 可进一步加工为美味牛肝菌调味品; 刘佳^[6]等人研究发现云南白牛肝菌(美味牛肝菌)的酶解液香气浓郁, 风味独特, 可用来生产高质量风味调料。本研究首次以美味牛肝菌的残次菇、菇柄、杀青水等加工副产物及食用菌风味特征明显的酶解液为主要原料, 在单因素实验基础上进行正交实验, 以产品感官评价为指标, 对美味牛肝菌风味沙拉酱的配方进行优化, 最终开发出美味牛肝菌风味沙拉酱产品, 既丰富了美味牛肝菌加工产品类型, 增加了美味牛肝菌产品的附加值, 又提高了美味牛肝菌的综合利用率, 减少环境污染。

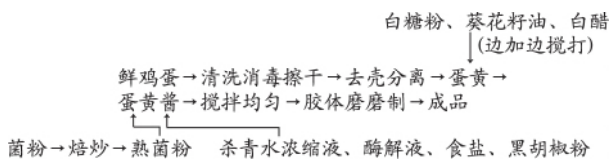
1 材料与方法

1.1 材料与仪器

美味牛肝菌菌粉、酶解液、杀青水浓缩液, 自制; 鲜鸡蛋、葵花籽油、白糖粉、白醋、黑胡椒粉、食盐等, 市售。

JM-L50 胶体磨 杭州亿安机械设备有限公司; DDQ-A30D2 打蛋器 广东小熊电器有限公司; HDJ-32 电炒锅 山东惠当家电器有限公司; LDP-2000A 粉碎机 浙江永康市红太阳机电有限公司; G70F20CP-D2 微波炉 格兰仕微波炉电器有限公司; BCD-241ZE3CKJ 冰箱 合肥美菱股份有限公司; D2KW-5-8 水浴锅 北京市永光明医疗仪器有限公司; HR20M1104190 冷冻离心机 湖南赫西仪器装备有限公司。

1.2 牛肝菌沙拉酱的工艺流程



1.3 操作要点

1.3.1 蛋黄酱制作 将鲜鸡蛋用自来水清洗后, 用3%双氧水消毒5 min, 再用蒸馏水冲洗干净, 用洁净的毛巾擦干水分后, 去壳分离得到蛋黄, 向其中加入白糖粉, 用打蛋器搅打至呈均匀乳状, 再缓慢加入葵花籽油, 边加边打, 使葵花籽油完全融于其中, 最后加入白醋搅打均匀, 即为蛋黄酱。

1.3.2 熟菌粉制备 将美味牛肝菌及加工副产物如残次菇、菇柄等, 去除泥沙等杂质, 切片, 然后清洗干净, 沥干水分。放入60℃干燥箱中进行烘制, 直至菌片水分含量在10%左右。将干燥的菌片放入粉碎机中进行粉碎, 过筛备用。将菌粉放入一定温度的电炒锅中小火炒制, 待菌粉散发出焦香味, 颜色变黄后起锅, 备用。

1.3.3 杀青水浓缩液制备 将美味牛肝菌残次菇、菇柄等去除泥沙等杂质, 然后清洗干净, 沥干水分后切成大小均匀的片状备用。称取一定量切好的原料, 以3:5(g/mL)的料液比加入一定量蒸馏水, 用微波加热8 min。将杀青后的溶液用纱布过滤, 即得杀

青水。将所得杀青水晾凉后, 置于4℃冰箱中预冷至少3 h。预冷好的杀青水倒入离心管中, 于-12℃, 以700 r/min的速度冷冻离心1.5 h, 使离心管内形成冰晶, 此时收集到未结晶的液体, 即得杀青水浓缩液。

1.3.4 酶解液制备 准确称量菌粉15 g, 中性蛋白酶4 g, 量取蒸馏水225 mL, 用玻璃棒搅拌均匀, 调节pH为7, 移液至250 mL三角烧瓶内。水浴锅升温至45℃恒温酶解4 h后, 沸水浴灭酶20 min, 取出晾凉后于4℃冰箱中预冷。将预冷后的样液倒入离心管中, 于4℃离心机中以转速3000 r/min离心20 min, 即得酶解液。

1.3.5 调味 食盐用一定量的杀青水浓缩液及酶解液混合液溶化, 按照一定比例将菌粉、黑胡椒粉、食盐水等边搅拌边加入蛋黄酱中。

1.3.6 胶体磨磨制 将调配好的沙拉酱用胶体磨磨制, 提高其分散性, 使膏体均匀细腻。

1.4 单因素实验设计

1.4.1 菌粉粒度对沙拉酱品质的影响 本实验将粉碎过的美味牛肝菌菌粉分别过60目、80目、100目筛, 辅料添加量保持一致, 研究不同菌粉粒度对沙拉酱品质的影响, 通过感官指标进行评价。

1.4.2 菌粉炒制时间对沙拉酱品质的影响 本实验在一定温度下控制牛肝菌粉的炒制时间, 以使菌粉香味浓郁而不焦糊。将磨成80目的美味牛肝菌菌粉分别在180℃下炒制3、5、7 min。研究不同炒制时间对沙拉酱品质的影响, 通过感官指标进行评价。

1.4.3 风味沙拉酱各辅料配方参数初筛 根据文献和预实验, 已得出蛋黄酱的最佳基础配方为: 鸡蛋黄20 g, 白糖粉25 g, 白醋25 g, 葵花籽油225 g, 并明确酶解液与杀青水浓缩液的添加比例(以下简称“浓缩液比例”)为1:1等量添加。现以美味牛肝菌菌粉为主要原料, 设计对菌粉与蛋黄酱的添加比例(以下简称“菌酱比例”)、酶解液与杀青水浓缩液(以下简称“浓缩液”)的添加总量、食盐添加量、黑胡椒粉添加量四个因素做单因素实验, 研究不同辅料配方对沙拉酱品质的影响, 通过感官指标进行评价。实验设计如表1所示。

1.5 正交实验设计

在单因素实验基础上, 选出对产品品质影响较大的菌酱比例、食盐添加量、黑胡椒粉添加量、杀青水浓缩液添加量四个因素, 进行四因素三水平 $L_9(3^4)$ 的正交实验(见表2)。各辅料添加量以200 g蛋黄酱为基准。通过对色泽、香味、口感、组织状态等感官指标进行综合评价, 确定出美味牛肝菌风味沙拉酱的最佳配方。

1.6 沙拉酱产品评价指标

1.6.1 理化指标测定 pH的测定方法见参考文献[7]; 油脂含量的测定方法见参考文献[8]; 氨基酸态氮含量、NaCl含量测定方法见参考文献[9]; 大肠菌群的测定方法见参考文献[10]; 沙门氏菌的测定方法见参考文献[11]; 金黄色葡萄球菌的测定方法见参考文献[12]。测定结果均取3次测量的平均值。

表1 风味沙拉酱各辅料单因素实验设计表

Table 1 Test design for various accessories of flavor salad dressing

因素	组号	菌酱比例	浓缩液(g)	食盐(g)	黑胡椒粉(g)
各变量 添加量	1	1:12, 1:10, 1:8, 1:6, 1:4	20	4	1.0
	2	1:8	10, 15, 20, 25, 30	4	1.0
	3	1:8	20	2, 3, 4, 5, 6	1.0
	4	1:8	20	4	0.4, 0.7, 1.0, 1.3, 1.6
定量			蛋黄酱: 200 g		

表3 风味沙拉酱感官评分标准

Table 3 Sensory evaluation criteria of flavor salad dressing

得分	感官指标			
	色泽	组织形态	口感	风味
7~10	呈褐色, 色泽均匀一致	呈均匀酱状, 无汁液析出; 流散缓慢, 粘稠度适中	口感细腻, 滋味鲜美, 咸甜适中	具有蛋黄酱的香味和食用菌特征风味
4~7	呈褐色, 色泽基本均匀一致	基本呈均匀酱状, 无汁液析出; 流散较缓慢, 粘稠度适中	口感较细腻, 滋味鲜美, 咸甜适中	具有蛋黄酱的香味, 稍有食用菌特征风味
1~4	呈深褐色, 色泽不均匀	基本呈均匀酱状, 少量汁液析出; 流散缓慢, 粘稠度过稀或过稠	口感不细腻, 滋味鲜美, 偏甜或偏咸	具有蛋黄酱的香味, 无食用菌特征风味

表2 正交实验设计表

Table 2 Orthogonal factor level table

因素	水平		
	1	2	3
菌酱比例	1:10	1:8	1:6
食盐(g)	4	5	6
胡椒粉(g)	1.0	1.2	1.4
浓缩液(g)	20	25	30

1.6.2 感官指标评定 由11人组成评分小组,每位成员需明确感官评分规则,评分过程中互不交流,根据各项感官指标进行打分,最后以11人的平均分为各项指标及综合评分的最终评分,从而评判产品的品质。具体评价的感官指标包括色泽、组织形态、口感及风味四项,每项满分计分10分,综合评分以各项得分的平均值计。具体评分标准如表3所示。

1.7 数据统计分析

采用 Excel 2007 和 SPSS11.5 进行数据分析及处理。

2 结果与分析

2.1 单因素实验

2.1.1 菌粉粒度对食用菌风味沙拉酱品质的影响

食用菌菌粉的粗细程度不仅会影响到食用菌风味物质的析出,还会对风味沙拉酱的口感产生影响,本文通过研究分别过60、80、100目筛的菌粉制作的沙拉酱品质,结果发现:过60目筛制作的沙拉酱组织状态粗糙,鲜味不足,有咀嚼口感;过80目筛制作的沙拉酱组织状态细腻,鲜味浓郁,稍有咀嚼口感;过100目筛制作的沙拉酱组织状态非常细腻,鲜味好,无咀嚼口感。综合沙拉酱的口感和组织状态,以过80目筛制作的沙拉酱品质最佳。

2.1.2 菌粉炒制时间对食用菌风味沙拉酱品质的影响 菌粉的炒制是一个熟制生香的过程,若菌粉炒制时间过短,菌本身的鲜香味将不能很好的释放出来;而炒制时间过长,则会产生焦糊味和苦味。本文将磨成80目的美味牛肝菌菌粉在180℃下分别炒制3、5、7 min。结果发现:炒制3 min的菌香味不足,稍有生腥感;炒制5 min的菌香味浓郁;炒制7 min后菌香味不足,有明显焦糊味道。综合评价以炒制5 min制作的沙拉酱品质最好。

2.1.3 风味沙拉酱各辅料配方参数确定

2.1.3.1 菌酱比例对食用菌风味沙拉酱品质的影响 菌粉及蛋黄酱的比例不仅对沙拉酱的风味和口感影响较大,对沙拉酱的色泽、组织形态及最终的营养价值均具有重要影响。由图1可知,当菌酱比例为1:6时,牛肝菌沙拉酱综合评分最高,达8.5分,与其它菌酱比例相比差异显著($p < 0.05$)。由感官评分结果可知,牛肝菌沙拉酱最佳菌酱比例为1:6。

2.1.3.2 浓缩液添加量对食用菌风味沙拉酱品质的影响 美味牛肝菌的酶解液与杀青水浓缩液中都含有丰富的呈味核苷酸和游离氨基酸等风味物质,其添加量对沙拉酱的风味及口感具有重大影响。由图2可知,当酶解液与杀青水浓缩液的添加总量为25 g时,沙拉酱在色泽、组织形态、口感及风味方面都具有最高的感官评分,且与其它添加量相比差异显著($p < 0.05$)。

2.1.3.3 食盐添加量对食用菌风味沙拉酱品质的影响 食盐是主要的调味料,在沙拉酱制作中主要起调和风味的作用。由图3可以看出,食盐的添加量在2~6 g时,对口感及风味均有明显影响。由感官评分结果可看出,牛肝菌沙拉酱的最佳食盐添加量为5 g时,综合评价感官评分最高,且与其它食盐添加量相比差异显著($p < 0.05$)。

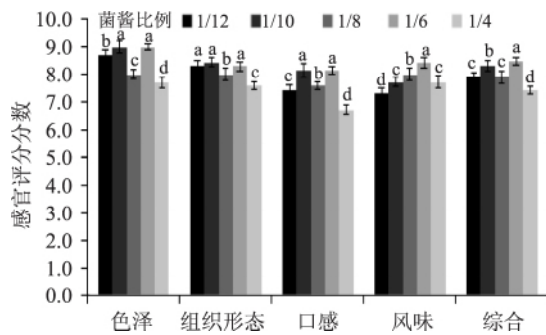


图1 菌酱比例对美味牛肝菌风味沙拉酱感官评分的影响

Fig.1 The effect of mushroom sauce ratio on sensory evaluation of *Boletus edulis* Bull. flavor salad dressing

注: 图中标注相同字母表示差异不显著 ($p > 0.05$), 不同字母表示差异显著 ($p < 0.05$) 图2~图4同。

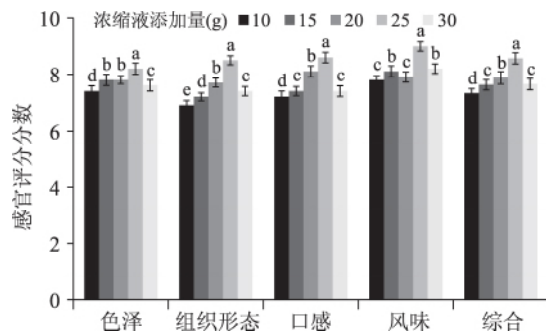


图2 浓缩液添加量对牛肝菌风味沙拉酱感官评分的影响

Fig.2 The effect of addition amounts of concentrated solution on sensory evaluation of *Boletus edulis* Bull. flavor salad dressing

2.1.3.4 黑胡椒粉添加量对食用菌风味沙拉酱品质的影响 黑胡椒粉属于辛辣刺激性调香调味品, 适量添加也能在一定程度上降低沙拉酱的油腻感, 对牛肝菌沙拉酱的色泽、口感及风味具有较大影响。由图4可以看出, 牛肝菌沙拉酱中黑胡椒粉的添加量为1.3 g时, 在色泽、口感、风味中均具有最高的感官评分, 综合评价感官评分也最高, 且差异显著 ($p < 0.05$)。

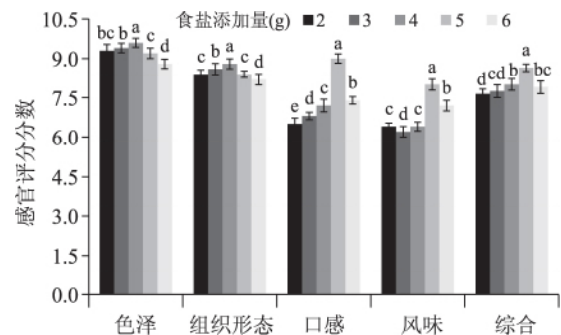


图3 食盐添加量对牛肝菌风味沙拉酱感官评分的影响

Fig.3 The effect of addition amounts of salt on sensory evaluation of *Boletus edulis* Bull. flavor salad dressing

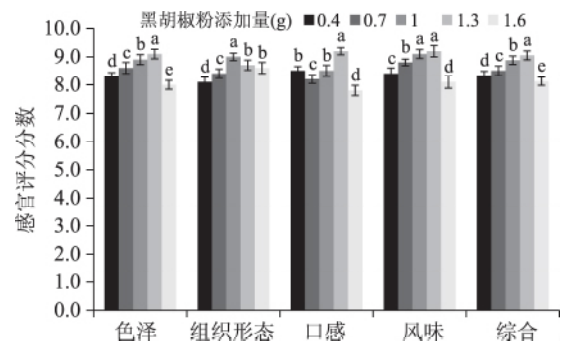


图4 黑胡椒粉添加量对牛肝菌风味沙拉酱感官评分的影响

Fig.4 The effect of addition amounts of black pepper on sensory evaluation of *Boletus edulis* Bull. flavor salad dressing

2.2 正交实验

由表4正交实验的结果可以看出, 影响牛肝菌风味沙拉酱综合感官品质的因素大小为: 酶解液与杀青水浓缩液添加量 > 黑胡椒粉添加量 > 菌酱比例添加量 > 食盐添加量, 最佳配比为 $A_2B_1C_3D_3$, 即以200 g 蛋黄酱为基准, 菌酱比例为1:6, 食盐4 g, 黑胡椒粉1.3 g, 浓缩液30 g。

2.3 产品验证实验

按照以上最佳的组合方案 $A_2B_1C_3D_3$, 即以200 g 蛋黄酱为基准, 菌酱比例为1:6, 食盐4 g, 黑胡椒粉

表4 牛肝菌风味沙拉酱配方正交实验结果

Table 4 The results of the orthogonal experiments about the formula of *Boletus edulis* Bull. flavor salad dressing

序号	A 菌酱比例	B 食盐 (g)	C 黑胡椒粉 (g)	D 浓缩液 (g)	感官评分
1	1(1:8)	1(4.0)	1(0.7)	1(20.0)	8.0
2	1	2(5.0)	2(1.0)	2(25.0)	8.6
3	1	3(6.0)	3(1.3)	3(30.0)	8.8
4	2(1:6)	1	2	3	8.5
5	2	2	3	1	8.3
6	2	3	1	2	8.6
7	3(1:4)	1	3	2	9.0
8	3	2	1	3	8.5
9	3	3	2	1	8.7
K_1	8.467	8.500	8.367	8.333	
K_2	8.733	8.467	8.600	8.600	
K_3	8.467	8.433	8.700	8.733	
R	0.266	0.233	0.333	0.400	

表5 牛肝菌风味沙拉酱质量指标

Table 5 Quality index of *Boletus edulis* Bull.flavor salad dressing

指标	产品特性	
感官指标	色泽	牛肝菌风味沙拉酱呈褐色,色泽均匀一致
	组织形态	均匀酱状 组织细腻 无汁液析出;流散缓慢 粘稠度适中
	口感	口感细腻 滋味鲜美 咸甜适中
	风味	具有蛋黄酱的香味和美味牛肝菌的特征风味
理化指标	pH	4.78
	氨基酸态氮	0.18 g/100 g
	油脂含量	52.6%
微生物指标	大肠菌群	≤10 CFU/g
	致病菌	未检出

1.3 g,浓缩液 30 g。经三次重复实验,感官综合评价平均分为 9.2 分,与正交实验得出的结果相符,由此表明,此正交实验得出的最佳配方符合实际,同时测定了牛肝菌风味沙拉酱的感官及理化质量指标如表 5。

3 结论

将美味牛肝菌的残次菇、杀青水等加工副产物作为风味沙拉酱的主要原料,以感官评价为判定指标,通过单因素和正交实验对影响沙拉酱风味的菌酱比例、杀青水及酶解液浓缩液添加量、黑胡椒粉添加量及食盐添加量 4 个因素进行了优化,确定了牛肝菌风味沙拉酱的配方为:蛋黄酱 200 g,牛肝菌粉 33.3 g,牛肝菌酶解液 15 g,牛肝菌杀青水浓缩液 15 g,食盐 4 g,黑胡椒粉 1.3 g。此配方制作的沙拉酱呈现均匀的褐色,流散缓慢,粘稠度适中,组织细腻,咸甜适中,具有蛋黄酱的香味和美味牛肝菌原料的综合风味。本研究开发的美味牛肝菌风味沙拉酱,为丰富美味牛肝菌加工产品类型,提升美味牛肝菌的深加工价值、实现美味牛肝菌资源的综合高效利用提供了借鉴和参考。

参考文献

[1]陈若芸,康洁.中国食用药用真菌化学[M].上海:上海科学技术文献出版社,2016:497.

[2]田文.高纤维大豆沙拉酱的研制[D].无锡:江南大学,2013.

[3]蒋丽,车振明,邢亚阁,等.食用菌杀青水中营养成分分析[J].食品工业,2015,36(6):92-95.

[4]王小红.食用菌中核苷酸的提取及调味品开发研究[D].南京:南京农业大学,2009.

[5]郭磊,刘辰,李娜,等.响应面法优化美味牛肝菌蛋白质的酶解工艺[J].食品工业科技,2016,37(15):213-217.

[6]刘佳,葛长荣,廖国周,等.云南白牛肝菌酶解工艺优化[J].食品工业科技,2016,37(21):222-227.

[7]GB/T 10786-2006,罐头食品的检验方法[S].北京:中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局中国国家标准化管理委员会,2006.

[8]GB/T 5009.6-2003,食品中脂肪的测定[S].北京:中华人民共和国卫生部中国国家标准化管理委员会,2004.

[9]GB/T 5009.40-2003,酱卫生标准的分析方法[S].北京:中华人民共和国卫生部中国国家标准化管理委员会,2004.

[10]GB 4789.3-2010,食品安全国家标准食品微生物学检验大肠菌群计数[S].北京:中华人民共和国卫生部,2010.

[11]GB 4789.4-2010,食品安全国家标准食品微生物学检验沙门氏菌检验[S].北京:中华人民共和国卫生部,2010.

[12]GB 4789.10-2010,食品安全国家标准食品微生物学检验金黄色葡萄球菌检验[S].北京:中华人民共和国卫生部,2010.

(上接第 205 页)

[11]Tai M, Gregory S. Engineering the push and pull of lipid biosynthesis in oleaginous yeast *Yarrowia lipolytica* for biofuel production[J].Metabolic Engineering, 2013, 15: 1-9.

[12]An Q, Bai G, Yang Y, et al. Preparation optimization of ATO particles by robust parameter design[J].Materials Science in Semiconductor Processing, 2015, 42: 354-358.

[13]赵玉萍,徐岩,朱春.田口设计优化耶氏酵母生产 γ -癸内酯[J].食品工业科技,2012,33(22):326-330.

[14]曹静,林萍.应用田口方法设计苯酐精制的最佳控制参数[J].化工进展,2015,34(4):976-979.

[15]Folch J, Lees M, Sloane Stanley Gh. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues[J].J Biol Chem, 1957, 226(1):497-509.

[16]马勇,陈秀莉,刘晓光.一株产油酵母菌摇瓶产油发酵条件的优化[J].湖北农业科学,2014,53(1):25-28.

[17]李涛,纪晓俊,吴娜,等.金属离子对产油微生物油脂积

累影响的研究进展[J].化工进展,2016,35(04):1173-1179.

[18]Beopoulos A, Cescut J, Haddouche R, et al. *Yarrowia lipolytica* as a model for bio-oil production[J].Progress in Lipid Research, 2009, 48(6):375-387.

[19]Ratledge C. Regulation of lipid accumulation in oleaginous micro-organisms[J].Biochemical Society Transactions, 2002, 30(6):1047-1050.

[20]Pourmortazavi S M, Rahimi-Nasrabadi M, Fazli Y, et al. Taguchi method assisted optimization of electrochemical synthesis and structural characterization of copper tungstate nanoparticles[J].International Journal of Refractory Metals & Hard Materials, 2015, 51(1):29-34.

[21]Zhao C H, Cui W, Liu X Y, et al. Expression of inulinase gene in the oleaginous yeast *Yarrowia lipolytica* and single cell oil production from inulin-containing materials[J].Metabolic Engineering, 2010, 12(6):510-7.