

响应面法优化黑木耳多糖酸奶工艺

翟丽丽^{1*}, 由大鹏²

(1. 包头轻工职业技术学院乳品农牧工程系, 包头 014035; 2. 通辽市畜牧兽医科学研究所, 通辽 028000)

摘 要: **目的** 优化黑木耳多糖酸奶的生产工艺。**方法** 采用超声波辅助酶法提取黑木耳多糖, 以黑木耳多糖和生牛乳为原料, 保加利亚乳杆菌、嗜热链球菌为发酵剂, 进行黑木耳多糖酸奶最佳工艺的研究, 以感官评价为指标, 采用单因素实验探究黑木耳多糖添加量、接种量及发酵时间对黑木耳多糖酸奶的影响, 进一步通过响应面实验对黑木耳多糖酸奶工艺进行优化, 并对酸奶品质进行评价。**结果** 确定了黑木耳多糖酸奶的最佳工艺条件: 黑木耳多糖添加量 0.15%, 接种量 3%, 发酵时间 4 h。在最优工艺条件下生产出的黑木耳多糖酸奶的感官评分达(91.26±0.05)分, 与预测值接近, 最终产品感官指标、理化指标及微生物指标均符合国家标准要求。**结论** 本研究开发出了一种比普通酸奶具有更高营养价值和保健功效的新型酸奶产品。

关键词: 黑木耳; 多糖; 酸奶; 工艺; 感官品质

Optimization process of *Auricularia auricula* polysaccharide yoghurt by response surface method

ZHAI Li-Li^{1*}, YOU Da-Peng²

(1. Dairy Farming and Animal Husbandry Engineering Department, Baotou Light Industry Vocational Technical College, Baotou 014035, China; 2. Institute of Animal Husbandry and Veterinary Sciences, Tongliao 028000, China)

ABSTRACT: Objective To optimize the production technology of *Auricularia auricula* polysaccharide yoghurt. **Methods** The ultrasonic assisted enzymatic method was used to extract agaric polysaccharide. The agaric polysaccharide and raw milk were used as raw materials, and *Lactobacillus bulgaricus* and *Streptococcus thermophilus* were used as starter to study the optimal technology of agaric polysaccharide yoghurt. With sensory evaluation as the index, the single factor experiment was used to explore the effects of agaric polysaccharide addition amount, inoculation amount and fermentation time on agaric polysaccharide yoghurt, the processing technology of *Auricularia auricula* polysaccharide yoghurt was further optimized by response surface methodology, and the quality of yoghurt was evaluated. **Results** The optimum technological conditions of *Auricularia auricula* polysaccharide yoghurt were determined: The addition of *Auricularia auricula* polysaccharide 0.15%, the inoculation amount 3%, and the fermentation time 4 h. The sensory score of *Auricularia auricula* polysaccharide yoghurt produced under the optimal technological conditions reached (91.26±0.05), which was close to the predicted value. The final sensory index, physical and chemical index and microbial index of the product all met the requirements of national standards. **Conclusion** This study develops a new type of yogurt product with higher nutritional value and health care efficacy than ordinary yogurt.

KEY WORDS: *Auricularia auricula*; polysaccharide; yoghurt; process; sensory quality

基金项目: 内蒙古自治区高等学校科学研究项目(NJZY20165)

Fund: Supported by the Scientific Research Project of Inner Mongolia Autonomous Region (NJZY20165)

*通信作者: 翟丽丽, 硕士, 副教授, 主要研究方向为食品加工与安全检测技术。E-mail: zhailili1981@163.com

*Corresponding author: ZHAI Li-Li, Master, Associate Professor, Dairy Farming and Animal Husbandry Engineering Department, Baotou Light Industry Vocational Technical College, No.7019, Jianhua Qutangxia Road, Qingshan District, Baotou 014035, China. E-mail: zhailili1981@163.com

0 引言

在我国,黑木耳主要产在东三省,内蒙古产出也较多。有学者研究,黑木耳中的蛋白质含量高出猪肉中蛋白质含量 0.28 倍,钙的含量高出猪肉钙含量 85 倍,同时还含有丰富的锌、铁等微量元素,是一种具有较高营养价值、低脂肪的食品^[1-2]。

黑木耳中的碳水化合物含量接近面粉中碳水化合物含量,主要为多糖,且不含淀粉,黑木耳多糖具有多种生理功能:可以有效降低血液黏稠度,有效预防血栓的形成,能够防止白细胞降低,提高机体免疫力,预防多种老年性疾病。综上所述,黑木耳多糖具有较高的营养价值和药用价值,是世界公认的健康真菌多糖^[3-6]。

目前对黑木耳多糖的研究^[7-10]主要集中在对黑木耳多糖提取方法、产黑木耳多糖菌株的优化等方面,黑木耳多糖的食品开发研究较少,因此本研究将提取的黑木耳多糖添加到酸奶^[11-16]生产过程中,通过响应面法^[17-21]研制出一种具有较高营养价值的、具有辅助治疗冠心病及动脉粥样硬化的新型酸奶,以期在黑木耳多糖的应用提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

生乳、黑木耳、白砂糖:市售。

菌种(保加利亚乳杆菌、嗜热链球菌)(国家菌种保藏中心);纤维素酶(20000 U/g)、木瓜蛋白酶(100000 U/g)(南宁东恒华道生物科技有限责任公司);95%乙醇、酚酞、氢氧化钠等(分析纯,国药集团化学试剂有限公司)。

1.2 仪器与设备

XFH-50CA 型高压灭菌锅(浙江新丰医疗器械有限公司);LGJ-10 冷冻干燥机(北京四环科学仪器厂);JY92-II型超声波细胞粉碎机(上海新芝生物技术研究);TDL-5-A型离心机(上海安亭科学仪器厂);ME104E 万分之一电子天平(上海梅特勒托利多仪器有限公司);GJJ-0.06/70 高压均质机(上海诺尼轻工机械有限公司)。

1.3 实验方法

1.3.1 工艺流程

制作工艺流程如图 1 所示。

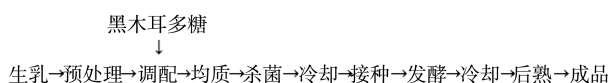


图 1 黑木耳多糖酸奶工艺流程

Fig.1 Process of *Auricularia auricula* polysaccharide yoghurt

1.3.2 操作要点

(1)培养基的制备

取 25 g 脱脂乳粉加入到 225 mL 的蒸馏水中,于

121℃,灭菌 15 min。

(2)菌种的活化

将培养基保持在 90~95℃,30 min,冷却到接种温度,取一环菌种接种到已灭菌的脱脂乳粉培养基中,于 43℃下培养,直到达到理想的凝乳状态与酸度,培养完毕,反复接种 3~4 次,通过产酸活力测定菌种活力,使菌种活力达到要求,停止菌种活化,将制备的菌种置于 4℃冰箱中备用。

(3)黑木耳多糖的制备

黑木耳多糖的提取方法按照文献^[22-27]的多糖方法进行并加以改进,将烘干黑木耳打碎成粉末状,按照料液比 1:60 (m:V)的比例调配,向其中加入一定量的复合酶(纤维素酶:木瓜蛋白酶=1:1, m:m),于 50℃,pH=5.0 条件下酶解 60 min。酶解灭酶后用超声波进行超声 30 min,功率 80 W。超声处理后,将冷却的液体进行离心,取上清液。采取醇沉法进行多糖分离,即加入 95%乙醇沉淀多糖,沉淀,离心,取沉淀。将收集的沉淀进行真空冷冻干燥,得到黑木耳粗多糖。

(4)调配

将生乳与得到的黑木耳多糖按一定的比例进行混合后,加入一定比例的白砂糖、稳定剂,并加入 2.5%的脱脂乳粉。

(5)均质、杀菌

将调配好的料液预热至 50~60℃后于 15~20 MPa 下进行均质,均质后于 95℃下杀菌,保持 5 min。

(6)接种、发酵

向冷却至 43℃的料液中加入发酵剂(嗜热链球菌:保加利亚乳杆菌=1:1),于 43℃发酵罐中发酵 4 h。

(7)冷却、后熟

发酵完毕,将酸奶立即冷却,置于 4℃冰箱中冷藏。

1.3.3 单因素实验设计

(1)黑木耳多糖添加量对酸奶品质的影响

生乳进行预处理后,将黑木耳多糖分别按 0.05%、0.10%、0.15%、0.20%、0.25%的添加量添加到原料配料罐中,与生乳进行混合,同时加入 8%的白砂糖、0.2%的羧甲基纤维素钠与果胶复合稳定剂、2.5%的脱脂乳粉,进行均质、杀菌、冷却后,按 3%的接种量接入发酵剂,于 43℃发酵罐中发酵 4 h,发酵完毕,冷却进行后熟。

(2)接种量对酸奶品质的影响

生乳进行预处理后,加入 0.15%的黑木耳多糖、8%的白砂糖、0.2%的羧甲基纤维素钠与果胶复合稳定剂,2.5%的脱脂乳粉,进行均质、杀菌、冷却后,分别按 1%、2%、3%、4%、5%的接种量接入发酵剂,于 43℃发酵罐中发酵 4 h,发酵完毕,冷却进行后熟。

(3)发酵时间对酸奶品质的影响

生乳进行预处理后,将 0.15%黑木耳多糖、8%的白砂糖、0.2%的羧甲基纤维素钠与果胶复合稳定剂,2.5%的脱

脂乳粉分别加入配料罐中,与生乳进行混合,混料进行均质、杀菌、冷却后,按 3%的接种量接入发酵剂,分别于 43℃发酵罐中分别进行发酵 2、3、4、5、6 h,发酵完毕,冷却进行后熟。

1.3.4 响应面实验设计

在单因素实验的基础上,根据 Box-Behnken 中心组合实验设计原理,选取黑木耳多糖添加量、接种量、发酵时间为自变量,感官分值为因变量,进行黑木耳多糖酸奶工艺的优化,通过响应面回归方程及两两交互作用的分析,得到黑木耳多糖酸奶最佳工艺条件的预测值,通过验证实验对预测值进行验证,响应面实验因素水平见表 1。

表 1 响应面实验因素水平 Table 1 Response surface test factor level			
水平	因素		
	A 黑木耳多糖添加量/%	B 接种量/%	C 发酵时间/h
-1	0.10	2	3
0	0.15	3	4
1	0.20	4	5

1.3.5 感官评价

感官评价^[28-29]选取 20 名经验丰富的食品感官评审员,男女各半,按照感官评分表,对黑木耳多糖酸奶的感官指标进行感官评分,去掉最高分,去掉最低分,取平均值,给出黑木耳多糖酸奶的感官分值,感官评分表见表 2。

表 2 感官评分标准 Table 2 Standard of sensory evaluation		
项目	评分标准	分值/分
组织状态	凝乳均匀、无乳清析出	16~20
	少量乳清析出,有少量气泡	9~15
	乳清析出明显,分层严重	0~8
滋味、气味	酸甜适口,酸奶特有香味	20~30
	香味不足	11~19
	过酸或过甜	0~10
色泽	乳白色	16~20
	色泽不匀	9~15
	色泽暗淡	0~8
口感	口感细滑	20~30
	稍有涩味	11~19
	口感粗糙	0~10

1.3.6 理化指标

蛋白质的测定按照 GB 5009.5—2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》凯氏定氮法进行测定;脂肪的测定按照 GB 5009.6—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》碱水解法进行测定。

1.3.7 微生物指标

乳酸菌数按照 GB 4789.35—2016《食品安全国家标准 食品微生物学检验 乳酸菌检验》进行检验;大肠埃希氏菌

的检测按照 GB/T 4789.38—2012《食品安全国家标准 食品微生物学检验 大肠埃希氏菌计数》第一法 MPN 计数检测;致病菌按 GB 4789.4—2016《食品安全国家标准 食品微生物学检验 沙门氏菌检验》、GB 4789.5—2012《食品安全国家标准 食品微生物学检验 志贺氏菌检验》、GB 4789.10—2016《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》进行检验。

1.4 数据处理

实验中每项测定重复 3 次,取平均值。响应面实验采用 Design-Expert V8.0.6 设计及分析。

2 结果与分析

2.1 黑木耳多糖添加量对酸奶品质的影响

由表 3 可以看出,随着黑木耳多糖添加量的增多,产品的口感评分随着黑木耳多糖的增加先增大后减小,这可能与黑木耳多糖中含有葡萄糖有关,一定量的黑木耳多糖可以促进乳酸菌利用营养物质,但添加量过大会抑制乳酸菌的生长繁殖,但产酸能力与乳酸菌不成正比关系^[30]。当黑木耳多糖添加 0.15%时,产品凝乳均匀,无乳清析出,具有酸奶特有的香味,呈均匀的乳白色,口感细腻,最终产品感官得分为(91.36±0.05)分,随着黑木耳多糖的增多,产品的色泽逐渐加深,黏度增大,酸度增加,口感略差,产品的感官评分呈现下降趋势。

表 3 黑木耳多糖添加量对感官特性的影响(n=3) Table 3 Effects of Auricularia auricula polysaccharide content on the sensory characteristics (n=3)					
黑木耳多糖 添加量/%	感官评分/分				
	组织状态	滋气味	色泽	口感	合计
0.05	18.24	22.32	18.43	24.63	83.62±0.05
0.10	18.89	23.45	18.96	27.12	88.42±0.05
0.15	19.25	25.58	19.23	27.30	91.36±0.05
0.20	18.74	24.39	18.56	26.65	88.34±0.05
0.25	16.98	21.68	16.73	23.93	79.32±0.05

2.2 接种量对酸奶品质的影响

选取的菌种为保加利亚乳杆菌与嗜热链球菌的混合菌种,属于同型乳酸发酵。当接种量为 1%时,产品的风味不足,凝乳较粗糙,不稳定;当接种量在 2%~4%时,产品的组织状态、滋气味、色泽及口感能被消费者接受(见表 4),随着菌种接种量的增加,黑木耳多糖酸奶的感官分值先增加后降低,当接种量达 3%时产品无乳清析出,酸甜适口,口感细腻,感官评分最高为(91.45±0.05)分,超过 3%的接种量,感官评分逐渐下降,当接种量超过 5%时,产品开始有乳清析出,有少量气泡,可能是随着接种量增加使得产酸加快,凝乳中蛋白质由于脱水而发生收缩,导致乳清析出,影响产品感官品质。

2.3 发酵时间对酸奶品质的影响

乳酸菌发酵过程中, 发酵时间对酸奶的品质有着重要的影响。由表 5 结果可以看出, 当发酵 2 h 时, 凝乳不稳定, 酸味淡, 口感不好; 当发酵 4 h, 产品的凝乳均匀、无乳清析出, 酸甜适口, 口感细腻, 酸奶的感官分值为(91.43±0.05)分; 当发酵 5 h, 有少量乳清析出, 酸奶感官指标开始下降, 当发酵 6 h, 发酵时间长, 产酸过快过多, 口感较差, 因此实验过程选取发酵 4 h 作为黑木耳多糖酸奶

的发酵时间。

2.4 响应面实验结果

通过单因素实验, 选取黑木耳多糖添加量、接种量、发酵时间作为考察的自变量, 感官评分作为因变量, 进行响应面实验结果如表 6。

通过响应面实验得出回归方程为:

$$Y=91.15+0.043A+0.17B-1.73C+0.12AB-0.83AC+0.57BC-5.81A^2-4.62B^2-3.90C^2$$

表 4 接种量对感官特性的影响(n=3)
Table 4 Effects of inoculation amount on the sensory characteristics (n=3)

接种量/%	感官评分/分				
	组织状态	滋气味	色泽	口感	合计
1	18.28	20.32	18.23	20.62	77.45±0.05
2	18.41	24.63	18.68	26.53	88.25±0.05
3	18.95	26.65	19.32	26.53	91.45±0.05
4	17.26	25.52	18.45	24.11	85.34±0.05
5	14.18	17.31	17.91	21.12	70.52±0.05

表 5 接种量对感官特性的影响(n=3)
Table 5 Effects of fermentation time on the sensory characteristics (n=3)

发酵时间/h	感官评分/分				
	组织状态	滋气味	色泽	口感	合计
2	16.04	19.35	17.76	20.13	73.28±0.05
3	18.25	26.04	18.67	24.38	87.34±0.05
4	18.92	26.89	18.96	26.66	91.43±0.05
5	14.96	25.43	18.35	22.02	80.76±0.05
6	14.97	16.32	15.31	18.74	65.34±0.05

表 6 响应面实验结果
Table 6 Response surface test results

序号	A	B	C	感官评分
1	-1.000	-1.000	0.000	80.35
2	0.000	1.000	-1.000	84.56
3	0.000	0.000	0.000	91.35
4	0.000	-1.000	-1.000	85.25
5	1.000	-1.000	0.000	80.84
6	-1.000	0.000	-1.000	82.07
7	0.000	1.000	1.000	81.15
8	-1.000	1.000	0.000	80.36
9	0.000	0.000	0.000	92.04
10	0.000	0.000	0.000	91.25
11	1.000	0.000	-1.000	83.18
12	0.000	0.000	0.000	90.23
13	-1.000	0.000	1.000	81.36
14	0.000	-1.000	1.000	79.56
15	1.000	0.000	1.000	79.14
16	0.000	0.000	0.000	90.89
17	1.000	1.000	0.000	81.32

2.4.1 响应面回归模型的建立与分析

由回归方程的方差分析可以看出, 回归模型的 $P<0.0001$, 极显著, 失拟项的 P 为 0.2050, 大于 0.05, 不显著, 说明对黑木耳多糖酸奶工艺条件的预测是可行的, 根据 F 值可知, 影响黑木耳多糖酸奶品质的因素主次顺序为 $C>B>A$, 即发酵时间>接种量>黑木耳多糖添加量; 拟合度 $R^2=0.9863$, 说明该模型的拟合性好, 产生的误差小, 可以用于黑木耳多糖酸奶工艺条件的优化。方差分析结果显示, C 因素的 $P<0.01$, 说明 C 因素对酸奶品质的影响是显著的, A 、 B 因素的 $P>0.05$, 说明 A 、 B 两个因素对酸奶感官品质的影响是不显著的, A^2 、 B^2 、 C^2 的 $P<0.0001$, 说明 A^2 、 B^2 、 C^2 对酸奶品质的影响均是极其显著的。

2.4.2 两因素交互作用分析

利用 Design-Expert 软件对实验结果进行分析, 得到 3 个因素的两两交互作用的响应面 3D 图和等高线图, 结果见图 2。根据响应面的 3D 图曲面越陡、等高线图越接近椭圆形, 两因素的交互作用越明显, 反之不明显。由图 2 可以看出, 两因素交互作用的明显程度为 $AC>BC>AB$, 与回归模型的方差分析一致。

2.4.3 最优工艺条件的确定

通过响应面实验中的回归模型得到黑木耳多糖酸奶的

最佳工艺条件为: 黑木耳多糖添加量 0.15%, 接种量 3.01%, 发酵时间 3.78 h, 在此条件下预测最佳感官分值为 91.35 分。

表 7 响应面实验回归方程的方差分析

方差来源	平方和	自由度	均方	F	P	显著性
模型	358.190	9	39.800	56.150	<0.0001	极显著
A	0.014	1	0.014	0.020	0.8905	不显著
B	0.240	1	0.240	0.340	0.5777	不显著
C	23.980	1	23.980	33.830	0.0007	显著
AB	0.055	1	0.055	0.078	0.7882	不显著
AC	2.770	1	2.770	3.910	0.0885	不显著
BC	1.300	1	1.3000	1.830	0.2178	不显著
A ²	142.300	1	142.300	200.760	<0.0001	极显著
B ²	89.910	1	89.910	126.850	<0.0001	极显著
C ²	64.070	1	64.070	90.400	<0.0001	极显著
残差	4.960	7	0.710			
失拟项	3.210	3	1.070	2.430	0.2050	不显著
纯误差	1.760	4	0.440			
总和	363.150	16				

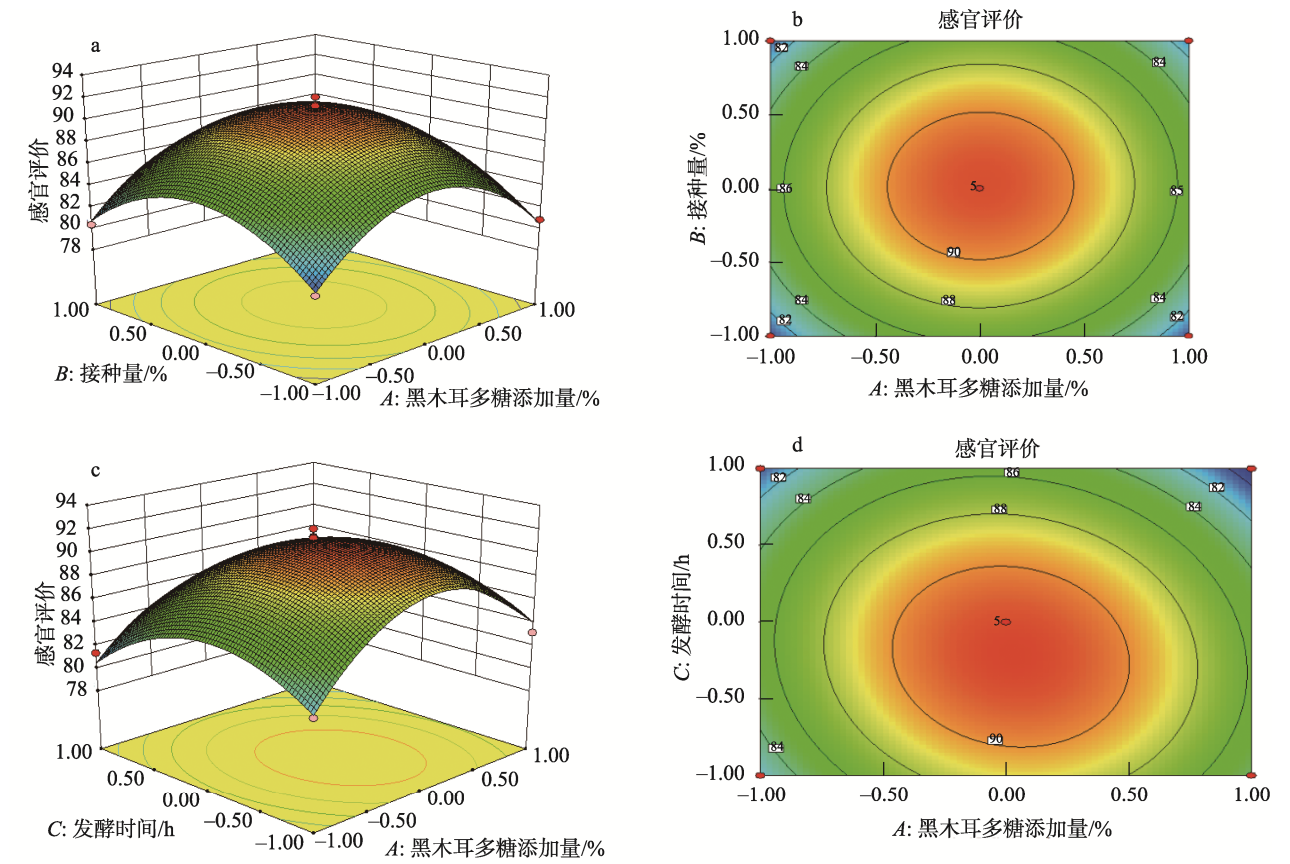


图2 各因素对黑木耳多糖酸奶感官品质影响的响应面 3D 图和等高线图

Fig.2 Response surface 3D and contour maps of the influence of various factors on sensory quality of *Auricularia auricula* polysaccharide yoghurt

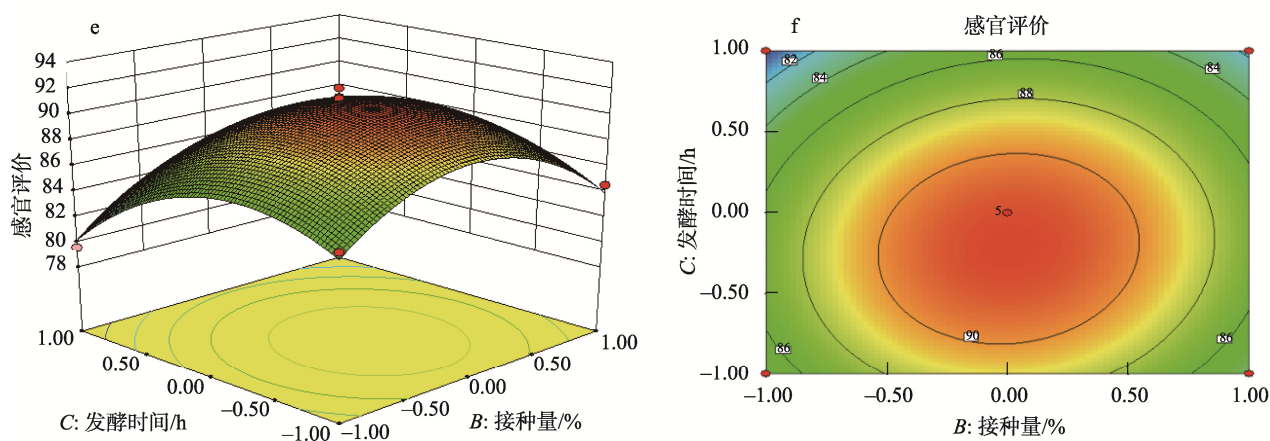


图2(续) 各因素对黑木耳多糖酸奶感官品质影响的响应面3D图和等高线图

Fig.2 Response surface 3D and contour maps of the influence of various factors on sensory quality of *Auricularia auricula* polysaccharide yoghurt

2.4.4 验证实验

为了验证响应面试验结果的准确性,对响应面试验得到的最优工艺参数进行可行性修改:黑木耳多糖添加量0.15%,接种量3%,发酵时间4h,在此条件下进行3次重复试验,验证黑木耳多糖酸奶的品质,3次试验的感官评分的平均值最终为(91.26±0.05)分,与预测值91.35分接近,通过酚酞指示剂法测得最终产品的酸度为(82.50±0.01)°T,产品口感细腻、无乳析析出、具有黑木耳特殊的风味。

2.5 产品质量检验

2.5.1 理化指标

蛋白质含量:(3.10±0.04)%,脂肪含量:(3.50±0.03)%,酸度:(82.50±0.01)°T,均符合国家标准。

2.5.2 微生物指标

乳酸菌数:(3.60±0.04)×10⁸ CFU/mL,大肠埃希氏菌最可能数(most probable number, MPN)<3,致病菌未检出,均符合国家标准。

3 结论

通过单因素实验及响应面实验,对黑木耳多糖酸奶的工艺进行了优化,得出黑木耳多糖酸奶的最佳工艺为:黑木耳多糖添加量0.15%,接种量3%,发酵时间4h,产品的理化指标、微生物指标符合国家标准要求。通过本研究研究出一种新型的黑木耳多糖食品,也开发出一种新型的酸奶产品,既满足广大消费者对营养的需求,又满足了消费者对健康的要求。

参考文献

- [1] 郑琪, 郭智高. 黑木耳近年来的研究应用进展[J]. 轻工科技, 2017, 33(11): 11–14.
- [2] CAI M, LIN Y, LUO YL, et al. Extraction, antimicrobial, and antioxidant activities of crude polysaccharides from the wood ear medicinal mushroom *Auricularia auricula-judae* (higher basidiomycetes) [J]. Int J Med Mushroom, 2015, 17(6): 591–600.
- [3] XU SQ, ZHANG YJ, JIANG K. Antioxidant activity *in vitro* and *in vivo* of the polysaccharides from different varieties of *Auricularia auricula* [J]. Food Funct, 2016, 7(9): 3868–3879.
- [4] 周勇, 李伟, 彭祺菲, 等. 沙棘多糖对发酵乳凝胶特性的影响及沙棘多糖酸奶工艺优化[J]. 中国乳品工业, 2020, 48(7): 26–31.
- [5] 卢玉容. 银耳多糖及槐米黄酮的粗提及其在酸奶中应用研究[D]. 成都: 成都大学, 2019.
- [6] 郝静, 杨晨芝, 丁霄, 等. 杏鲍菇多糖对乳酸菌发酵及酸奶品质的影响[J]. 食品工业, 2020, 41(11): 177–180.
- [7] 薛依婷, 白红霞, 李明杰, 等. 黑木耳多糖凝固型酸奶发酵工艺优化[J]. 食品工业科技, 2020, 41(16): 156–162.
- [8] 侯静宇, 国利超, 鲁玉佳, 等. 两种不同方法制备的黑木耳多糖性质比较[J]. 菌物学报, 2020, 39(7): 1429–1436.
- [9] 苗晶因, 邱军强, 李海霞, 等. 一种黑木耳酸性多糖的分离纯化及其结构鉴定[J]. 食品研究与开发, 2019, 40(6): 1–8.
- [10] 庄伟. 黑木耳多糖的提取、结构解析及活性功能研究[D]. 上海: 华东

- 理工大学, 2020.
- ZHUANG W. Extraction, structure analysis and active function of *Auricularia auricula* polysaccharides [D]. Shanghai: East China University of Science and Technology, 2020
- [11] 张小芳, 孙艳, 刘玉青, 等. 红豆酸奶配方工艺优化研究[J]. 食品研究与开发, 2019, 40(1): 144–149.
- ZHANG XF, SUN Y, LIU YQ, *et al.* Study on recipe and process optimized of red bean yogurt [J]. Food Res Dev, 2019, 40(1): 144–149.
- [12] 崔国庭, 李沁沛, 王缙, 等. 红枣多糖对乳酸菌发酵及酸奶品质的影响[J]. 食品工业科技, 2017, 38(19): 203–207.
- CUI GT, LI QP, WANG D, *et al.* Effects of jujube polysaccharide on lactic acid bacteria fermentation and yogurt quality [J]. Sci Technol Food Ind, 2017, 38(19): 203–207.
- [13] 田宇, 郭阳, 袁俊芳, 等. 黑木耳凝固型酸奶的研制[J]. 中国乳品工业, 2015, (9): 61–64.
- TIAN Y, GUO Y, YUAN JF, *et al.* Preparation of coagulated yoghurt with black fungus [J]. China Dairy Ind, 2015, (9): 61–64.
- [14] 许丽君, 顾瑞霞, 肖丽霞. 响应面法优化胡萝卜膳食纤维酸奶工艺[J]. 中国乳品工业, 2016, 44(10): 55–60.
- XU LJ, GU RX, XIAO LX. Optimization of carrot dietary fiber yogurt process using response surface methodology [J]. China Dairy Ind, 2016, 44(10): 55–60.
- [15] 马雅鸽, 赵声兰, 琪森. 地木耳酸奶的研制[J]. 中国酿造, 2013, 32(10): 138–141.
- MA YG, ZHAO SL, QI S. Development of fungus yogurt [J]. China Brew, 2013, 32(10): 138–141.
- [16] 崔福顺, 崔泰花. 黑木耳红枣复合酸奶的研制[J]. 食用菌, 2010, (4): 63–64.
- CUI FS, CUI TH. Preparation of compound yoghurt of black fungus and jujube [J]. Edible Fungi, 2010, (4): 63–64.
- [17] 赵延胜, 王琪娜, 吴飞, 等. 响应面优化大麦酸奶工艺及其品质分析研究[J]. 中国乳品工业, 2017, 45 (10): 42–46.
- ZHAO YS, WANG QY, WU F, *et al.* Response surface optimization of barley yogurt process and quality analysis [J]. China Dairy Ind, 2017, 45(10): 42–46.
- [18] 任文武, 詹现璞, 杨耀光, 等. 黑木耳饮料加工技术[J]. 农产品加工, 2012, (7): 155–155.
- REN WW, ZHAN XP, YANG YG, *et al.* Processing technology of black fungus beverage [J]. Farm Prod Process, 2012, (7): 155–155.
- [19] 王倩, 吴梦兰, 郑硕, 等. 酶解黑木耳饮料制备工艺的研究[J]. 食品研究与开发, 2018, 39(24): 71–77.
- WANG Q, WU ML, ZHENG S, *et al.* The research of the enzymatic hydrolysis of black fungus beverage preparation technology [J]. Food Res Dev, 2018, 39(24): 71–77.
- [20] 许玉然, 马福民, 邹德静, 等. 黑木耳人参复合乳酸发酵饮料的工艺研究[J]. 饮料工业, 2015, (2): 44–48.
- XU YR, MA FM, ZOU DJ, *et al.* Study on the technology of fermented beverage of black fungus and ginseng with compound lactic acid [J]. Bever Ind, 2015, (2): 44–48.
- [21] 王润博, 杨雯雯. 海带-黑木耳酸奶的工艺优化研究[J]. 漯河职业技术学院学报, 2019, 18(2): 27–30.
- WANG RB, YANG WW. Study on technological optimization of kelp-black fungusyogurt [J]. J Luohe Vocat Technol Coll, 2019, 18(2): 27–30.
- [22] 范金波, 侯宇, 周素珍, 等. 超声波辅助酶法提取黑木耳多糖工艺条件优化[J]. 食品与发酵科技, 2014, (6): 31–35.
- FAN JB, HOU Y, ZHOU SZ, *et al.* Optimization of ultrasonic assisted enzymatic extraction of polysaccharides from *Auricularia auricula* [J]. Food Ferment Technol, 2014, (6): 31–35.
- [23] 徐秀卉, 杨波. 超声波法提取黑木耳多糖的工艺[J]. 药学与临床研究, 2011, 19(2): 189–190.
- XU XH, YANG B. Ultrasonic extraction of polysaccharide from *Auricularia auricula* [J]. Pharm Clin Res, 2011, 19(2): 189–190.
- [24] 郑钧予. 复合酶法提取黑木耳多糖方法优化[J]. 安徽农业科学, 2015, 43(3): 183–185, 199.
- ZHENG JY. Optimization of the method for extracting polysaccharides from black fungus with compound enzyme [J]. J Anhui Agric Sci, 2015, 43(3): 183–185, 199.
- [25] 樊黎生, 张声华, 吴小刚. 微波辅助提取黑木耳多糖的研究[J]. 食品与发酵工业, 2005, 31(10): 142–145.
- FAN LS, ZHANG SH, WU XG. Study on microwave-assisted extraction of polysaccharide from *Auricularia auricula* [J]. Food Ferment Ind, 2005, 31(10): 142–145.
- [26] ZENG WC, ZHANG Z, GAO H, *et al.* Characterization of antioxidant polysaccharides from *Auricularia auricular* using microwave-assisted extraction [J]. Carbohydr Polym, 2012, 89: 694–670.
- [27] 王颖. 利用超声波辅助气流超微粉碎技术制备可冲调木耳粉的研究[D]. 大庆: 黑龙江八一农垦大学, 2016.
- WANG Y. Study on the preparation of flushable auricularia auricula powder by ultrasonic assisted airflow superfine grinding technology [D]. Daqing: Heilongjiang Bayi Agricultural Reclamation University, 2016.
- [28] 张岩, 李健, 刘鲁蜀, 等. 松茸多糖对乳酸菌发酵及酸奶品质的影响[J]. 食品工业科技, 2016, 37(1): 156–160.
- ZHANG Y, LI J, LIU LS, *et al.* Effects of *Tricholoma matsutake* polysaccharide on *Lactobacillus* fermentation and yogurt quality [J]. Sci Technol Food Ind, 2016, 37(1): 156–160.
- [29] 丛懿洁, 马蕊, 李银塔. 原味酸奶的感官属性分析及模糊数学评价[J]. 中国乳品工业, 2020, 48(12): 53–58.
- CONG YJ, MA R, LI YT. Sensory attribute analysis and fuzzy mathematical evaluation of plain yogurt [J]. China Dairy Ind, 2020, 48 (12): 53–58.
- [30] 孙凯峰. 微生物发酵对黑木耳降脂降糖功能活性的影响[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2019.
- SUN KF. Effect of microbial fermentation on the functional activity of *Auricularia auricula* in reducing blood lipid and glucose [D]. Harbin: Northeast Forestry University, 2019.

(责任编辑: 于梦娇 黄周梅)

作者简介



翟丽丽, 硕士, 副教授, 主要研究方向为食品加工与安全检测技术。
E-mail: zhailili1981@163.com