

响应面优化天然黑木耳纸的生产工艺及其物性研究

高婷婷, 吴玉莹, 刘 阳, 王大为*

(吉林农业大学食品科学与工程学院, 吉林长春 130118)

摘要:采用单因素和响应面实验对纯天然黑木耳纸生产工艺进行优化,对影响工艺的主要因素:黑木耳粉粒度、液料比、涂膜厚度进行研究和分析。采用质构仪对黑木耳薄片的硬度、内聚性、弹性、胶黏性和咀嚼性等物性指标进行测定。结果表明:对黑木耳纸感官评分值影响因素由大到小依次为木耳粉粒度>液料比>涂膜厚度。当涂膜厚度1.1 mm、液料比15.2:1 mL/g、木耳粉粒度200目时,天然黑木耳纸感官评分值为97.2分。在此工艺条件下,黑木耳纸物性为硬度5.42,内聚性1.71,弹性1.24,胶黏性5.35,咀嚼性1.37。

关键词:纯天然,黑木耳纸,工艺,物性

Response surface experiment optimize natural edible fungus paper production process and physical properties research

GAO Ting-ting, WU Yu-ying, LIU Yang, WANG Da-wei*

(College of Food Science and Engineering, Jilin Agricultural University, Changchun 130118, China)

Abstract: Response surface methodology (RSM) and univariate was used to optimize natural edible fungus paper production process. The effects of main parameters including the thickness of the coating, liquid ratio, agaric powder particle size, which affected the modified process were studied. Using texture analyzer fungus flakes hardness, cohesiveness, elasticity, adhesive and chewing gum and other physical indicators were measured. Results showed that the factors affecting the order from large to small was agaric powder particle size>water-material ratio>coating thickness. The results showed that when the thickness of the coating was 1.1 mm, water-material ratio was 15.2:1 mL/g and agaric powder particle size was 200 mesh. The sensory score could reach 97.2. Under the process conditions, physical properties of the black fungus paper were hardness 5.42, cohesiveness 1.71, cohesion 1.24, elastic plastic viscosity 5.35, chewiness 1.37.

Key words: pure natural; black fungus paper; process; physical properties

中图分类号: TS209

文献标识码: B

文章编号: 1002-0306(2016)06-0287-05

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2016.06.050

黑木耳 [*Auricularia auricula* (L. ex Hook.) Underw] 属担子菌纲, 木耳目、木耳科、木耳属, 是我国特别珍贵的药食兼用的胶质真菌^[1-2]。有调查研究表明, 黑木耳具有天然胶作用, 有粘结功能, 黑木耳中的多糖类物质具有多种生理活性及药用价值。同时营养含量丰富, 被美誉为“菌中之冠”。黑木耳除含有常规成分外, 铁的含量比肉类高100倍, 钙的含量是肉类的30~70倍^[3-5]。

近年来, 随着黑木耳产量及市场流通环节的增多, 碎黑木耳也随之增加, 而在生产加工过程中, 也会产生大量的碎木耳, 其中有很多会被人弃用, 导致原料的浪费。充分利用这些生产加工中被大量弃用的碎木耳, 加工制作成薄片食品^[6-7], 在资源重新利用

的同时能够增加食用菌产品的多样性, 为食用菌产业的发展给予支持。

目前, 常见添加黑木耳成分制作饼干、蛋糕、饮料等制品, 杨春瑜等^[8]采用黑木耳碎片加胶成膜并调味, 最后烤制为成品黑木耳纸。而对于纯天然黑木耳纸的制作并用物性仪检验其成分的研究未见报道。本研究采用吉林省蛟河县黄松甸镇在包装中产生的碎黑木耳作为原料, 采用超微粉碎的方法, 利用黑木耳天然粘合作用, 在不破坏黑木耳原有的色、香、味及营养成分的基础上, 经过烘箱烘制成香脆可口美味的即食黑木耳纸方便休闲食品, 对碎黑木耳开发利用创造途径。

收稿日期: 2015-07-21

作者简介: 高婷婷 (1990-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 粮食油脂与植物蛋白工程, E-mail: gaoting05@163.com。

* 通讯作者: 王大为 (1960-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 粮食油脂与植物蛋白工程, E-mail: xcpylzx@163.com。

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划项目 (2013BAD16B08); 长春市科技计划项目 (14NK007)。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

黑木耳 吉林省蛟河县黄松甸镇; 酒石酸钾钠、乙酸锌、盐酸、氢氧化钠、硫酸铜、硫代硫酸钠、亚甲基蓝、无水乙醇、无水乙醚、醋酸、亚铁氰化钾等 均为分析纯, 北京化工厂。

XYF-E型远红外线食品烤炉 广州电热设备厂; ZDF-6050型真空干燥箱 上海精宏实验设备有限公司; 标准筛 浙江上虞市长征沙筛厂; HYP-1004消化炉 上海纤检仪器有限公司; Q-250A3高速多功能粉碎机 上海冰都电器有限公司; GB-204型分析天平 德国赛多利斯仪器有限公司; MB-45型快速水分测定仪 美国奥豪斯仪器有限公司; WFJ-8型超微粉碎机 江阴市亿丰机械设备有限公司; TA.XT-plus质构仪 英国Stable Micro Systems公司。

1.2 实验方法

1.2.1 黑木耳粉的制备 取适量符合食品卫生要求的碎黑木耳, 将其与水按1:10的比例浸泡2 h, 充分涨润后, 洗涤去根处理, 将黑木耳烘干, 粉碎, 过筛备用。

1.2.2 黑木耳粉成分分析 水分测定: 参照GB5009.3-2010《食品中水分的测定》直接干燥法; 碳水化合物测定: 参照《食品中碳水化合物的测定方法》; 钾的测定: 参照GB/T 5009.91-2003《食品中钾、钠的测定》; 钙的测定: 参照GB/T 5009.92-2003《食品中钙的测定》; 铁的测定: 参照GB/T 5009.90-2003《食品中铁、镁、锰的测定》; 脂肪测定: 参照GB/T 14772-2008《食品中脂肪的测定》索氏提取法; 蛋白质测定: 参照GB5009.5-2010《食品中蛋白质的测定》分光光度法。

1.2.3 工艺流程 黑木耳粉→润料(黑木耳粉与水混合均匀, 放置40 min以上)→涂膜→烘烤(远红外烤箱进行烘烤25 min, 再80℃烘烤60 min)→冷却→揭膜→微波灭菌(微波功率1200 W, 60 s)→包装→成品。

1.2.4 天然黑木耳纸生产工艺单因素实验

1.2.4.1 黑木耳粉粒度对天然木耳纸感官评分的影响 在液料比为15:1 mL/g、涂膜厚度为1.0 mm的条件下, 黑木耳粉粒度分别为160、180、200、220、240目时, 以感官评分为评价指标, 考察黑木耳粉粒度对天然黑木耳纸感官评分的影响。

1.2.4.2 液料比对天然黑木耳纸感官评分的影响 在黑木耳粉粒度为200目、涂膜厚度为1.0 mm的条件下, 液料比分别为13:1、14:1、15:1、16:1、17:1 mL/g时, 以感官评分为评价指标, 考察液料比对天然木耳纸感官评分的影响。

1.2.4.3 涂膜厚度对天然黑木耳纸感官评分的影响 在液料比为15:1 mL/g、黑木耳粉粒度为200目的条件下, 涂膜厚度分别为0.6、0.8、1.0、1.2、1.4 mm时, 以感官评分为评价指标, 考察料液比对天然木耳纸感官评分的影响。

1.2.5 天然黑木耳纸生产工艺参数的优化 综合考虑单因素实验结果, 以涂膜厚度(X_1)、液料比(X_2)、黑木耳粉粒度(X_3)作为响应因素, 以天然黑木耳纸感官评分(Y)为响应值, 设计三因素三水平的响应面实验, 确定最佳工艺参数。实验设计因素水平见表1。

表1 Box-Behnken中心组合实验因素水平表

Table 1 Factors and their coded levels in the Box-Behnken experimental design

水平	因素		
	X_1 涂膜厚度 (mm)	X_2 液料比 (mL/g)	X_3 木耳粉粒度 (目)
-1	0.8	14:1	180
0	1.0	15:1	200
1	1.2	16:1	220

1.2.6 天然黑木耳纸感官评分指标 黑木耳纸作为食用菌产品类型中的新型食品, 产品的感官品质尤为重要, 能刺激味觉神经, 产品表面的光滑性、完整性, 裂痕、裂纹情况直接影响消费者对产品的整体感觉, 颜色是否均一, 口感是否纯正, 形态是否完整等对感官评分都具有直接影响, 具体评分情况见表2。

表2 天然黑木耳纸感官评分指标

Table 2 Natural edible fungus paper sensory score index standard

感官指标	标准	分数(分)
成型性	成型好, 表面完整, 平滑	22~25
	成性较好, 完整, 有小裂痕	15~21
	一般, 有裂纹, 分布不均匀	0~14
色泽	色泽均一	22~25
	深浅不一	15~21
	颜色不好	0~14
口感	酥脆, 带木耳香	22~25
	粘性大, 滋味不正	15~21
	口感较差	0~14
形态	结构完整, 不致密	22~25
	起卷	15~21
	不平整	0~14

1.2.7 黑木耳纸的质构测定 取形态完好的烘烤冷却后的木耳薄片。调整质构仪在TPA(Texture Profile Analysis)模式下测定木耳薄片的质构指标(硬度、内聚性、弹性、胶黏性、咀嚼性), 具体测定方法为: 将完整的木耳薄片放在测试台中央, 将木耳薄片放置平整, 上下不能有悬空和凸起, 每组样品做5次平行实验, 取其平均值。测定参数: 测前速度1.00 mm/s; 测试速度0.5 mm/s; 压缩比90.0%; 2次压缩间隔时间为5.00 s; 探头型号SMSP50。比较工艺优化前后物性变化。

1.2.8 数据处理方法 采用Design-Expert 8.0.6软件及Box-Behnken中心设计原理处理数据, 确定最佳工艺参数。

2 结果与分析

2.1 黑木耳粉基本成分

黑木耳粉的基本成分见表3, 可见其营养均衡, 且富含矿物质。

2.2 天然黑木耳纸生产工艺单因素实验结果与分析

2.2.1 木耳粉粒度对天然木耳纸感官评分的影响

由图1可以看出, 随着黑木耳粉粒度的增加, 天然黑木耳纸感官评分值先增大, 当木耳粉粒度达到200目

表3 黑木耳粉基本成分表(每100 g)
Table 3 Basic ingredients of agaric powder(per 100 g)

试样	碳水化合物(g)	水分(g)	蛋白质(g)	脂肪(g)	钾(mg)	钙(mg)	铁(mg)
黑木耳粉	58.62	13.54	12.18	1.52	757.85	247.97	97.45

时感官评分达到最大,为96.7分。当黑木耳粉目数继续增大时,感官评分值几乎不变。原因可能是,当木耳粉目数较小时,口感较粗糙,影响产品品质,当木耳超微粉碎目数增大后,粉质变得细腻,口感圆润,入口柔和,当粉碎粒度达到一定程度时,细胞被破坏,其中的蛋白质成分被释放出来,故而感官评分较高^[15-16]。结合图3结果,选择木耳粉粒度为180、200、220目为多因素的研究水平。

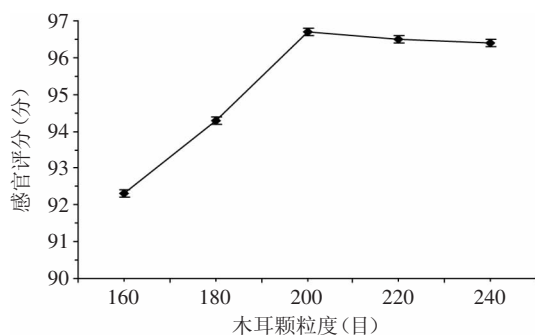


图1 木耳粉粒度对天然木耳纸感官评分的影响

Fig.1 Effect of particle size on natural edible fungus paper sensory score

2.2.2 液料比对天然木耳纸感官评分的影响 由图2可以看出,天然黑木耳纸感官评分在液料比为14:1 mL/g时较小,伴随液料比的增加,感官评分逐渐变大;当液料比达到15:1 mL/g时,感官评分值达到最大,为96.5分;当液料比继续变大后感官评分也随之下降,可能原因是,当加水量较少时,木耳未完全胀润,口感较粗糙,而当黑木耳完全复水后口感最佳,当水过多时,随着烘烤时间也会延长,导致口感会变差^[12-14]。根据图2结果,选择液料比分别为14:1、15:1、16:1 mL/g为多因素的研究水平。

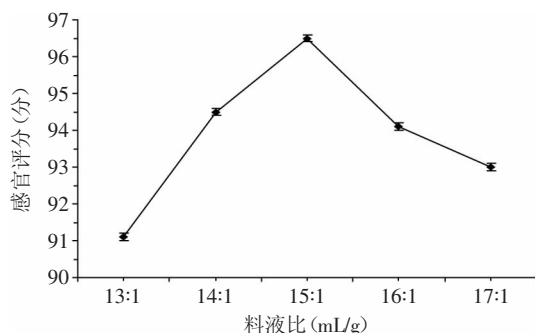


图2 液料比对天然木耳纸感官评分的影响

Fig.2 Effect of water-material ratio on natural edible fungus paper sensory score

2.2.3 涂膜厚度对天然黑木耳纸感官评分的影响 由图3可以看出,随着涂膜厚度的增加,天然黑木耳纸感官评分值先增大,当涂膜厚度达到1.0 mm时感官

评分达到最大,为96.6分。由于木耳纸产品完整性和口感逐渐变好,当涂膜厚度继续增大时,感官评分值下降,原因可能是当涂膜厚度继续变大后,产品口感会粗糙^[9-11]。结合图3结果,选择涂膜厚度为0.8、1.0、1.2 mm为响应面实验的研究水平。

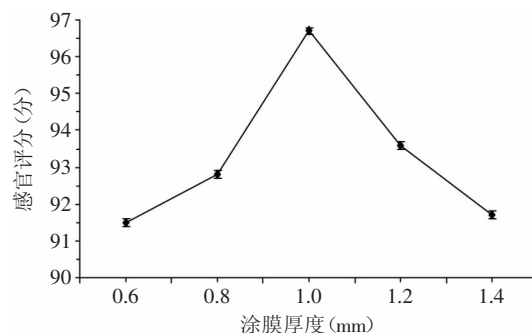


图3 涂膜厚度对天然黑木耳纸感官评分的影响

Fig.3 Effect of coating thickness on natural edible fungus paper sensory score

2.3 响应面实验优化天然黑木耳纸生产工艺参数的优化

2.3.1 天然黑木耳纸生产工艺数学模型的建立与显著性检验 采用Box-Behnken实验设计,以单因素实验结果为基础,进行三因素三水平的响应面RSM(response surface methodology)分析实验。考察涂膜厚度(X_1)、液料比(X_2)、木耳粉粒度(X_3)对天然木耳

表4 天然木耳纸生产工艺 Box-Behnken实验设计及结果
Table 4 Box-Behnken design arrangement and experimental results of natural edible fungus paper production process

实验号	X_1	X_2	X_3	Y:感官评分(%)
1	0	0	0	96.3
2	-1	0	-1	91.6
3	-1	1	0	96.4
4	-1	0	1	92.7
5	1	1	0	95.8
6	0	-1	-1	90.7
7	0	0	0	96.5
8	-1	-1	0	94.3
9	1	-1	0	94.5
10	0	1	1	93.2
11	0	0	0	96.6
12	0	0	0	96.7
13	0	1	-1	92.9
14	1	0	-1	92.1
15	1	0	1	94.9
16	0	-1	1	93.9
17	0	0	0	96.8

纸感官评分(Y)的影响,实验设计方案及结果见表4。

采用Design-Expert 8.0.6软件对表3进行多元回归拟合、方差分析及显著性检验,得到以天然黑木耳纸感官评分为目标函数,关于各条件编码值的二次回归方程为:

$$Y = 96.58 + 0.41X_1 + 0.49X_2 + 0.93X_3 + 0.05X_1X_2 + 0.43X_1X_3 - 0.73X_2X_3 - 0.72X_1^2 - 0.86X_2^2 - 3.04X_3^2$$

对该模型进行显著性检验,可得到方差分析见表5,模型的可信度分析见表6。

表5 回归方程方差分析表

Table 5 Analysis of variance table for regression model

方差来源	自由度	离差平方和	均方	F值	p值	显著性
X_1	1	1.36	1.36	11.61	0.0113	*
X_2	1	1.90	1.90	16.22	0.0050	**
X_3	1	6.85	6.85	58.40	0.0001	**
X_1X_2	1	0.01	0.01	0.085	0.7787	
X_1X_3	1	0.72	0.72	6.16	0.0420	*
X_2X_3	1	2.10	2.10	17.94	0.0039	**
X_1^2	1	2.15	2.15	18.36	0.0036	**
X_2^2	1	3.15	3.15	26.88	0.0013	**
X_3^2	1	38.91	38.91	331.97	<0.0001	**
模型	9	59.97	6.66	56.85	<0.0001	**
残差	7	0.82	0.12			
失拟项	3	0.67	0.22	6.06	0.0572	
纯误差	4	0.15	0.037			
总和	16	60.79				

注: *: 差异显著($p < 0.05$); **: 差异极显著($p < 0.01$)。

表6 回归模型的可信度分析

Table 6 Reliability analysis of the established regression model

项目	感官评分 平均值(分)	复相关系数 R^2 (%)	修正相关系数 R^2_{adj} (%)	Y的变异 系数(%)
结果	94.41	98.65	96.91	0.36

由表5、表6可知,模型的 p 值小于0.0001,远小于0.01,说明该模型极显著,回归模型与实际测定数值能够很好的拟合,实验误差较小,因此,可以用该回归方程代替实验真实值对实验结果进行分析, $R^2 = 98.65\%$,预测值与实测值之间具有高度的相关性,说明方程可靠性较高。在回归模型中,一次项 X_2 、 X_3 ,交互项 X_2X_3 ,二次项 X_1^2 、 X_2^2 、 X_3^2 ,均表现出了极显著水平;一次项 X_1 ,交互项 X_1X_3 ,均表现出了显著水平。方差分析结果还表明,影响天然木耳纸感官评分由强到弱的因素为木耳粉粒度>料液比>涂膜厚度。

2.3.2 各因素的交互作用对天然木耳纸感官评分影响的响应面分析 响应面图是响应值对应各因素 X_1 、 X_2 、 X_3 所构成的三维空间曲面图,可直观反应各因素的交互作用^[17-18]。在固定另外两个因素的情况下,对模型进行降维分析,以考察各因素间的交互作用对响应值天然木耳纸感官评分的影响。由Design-Expert 8.0.6软件对其进行统计分析,所得响应面及其等高线见图4。等高线能够较直观的反映出各个因素交互作用对响应值的影响。等高线中的椭圆形表

示两因素交互作用显著,而圆形则表示两因素交互作用不显著。液料比(X_2)与木耳粉粒度(X_3)之间的交互作用极显著,具体表现为等高线图呈明显的椭圆形,涂膜厚度(X_1)与木耳粉粒度(X_3)之间的交互作用显著,等高线图呈现出椭圆形,而涂膜厚度(X_1)与液料比(X_2)之间的交互作用不显著,具体表现为等高线图几乎呈现为圆形。

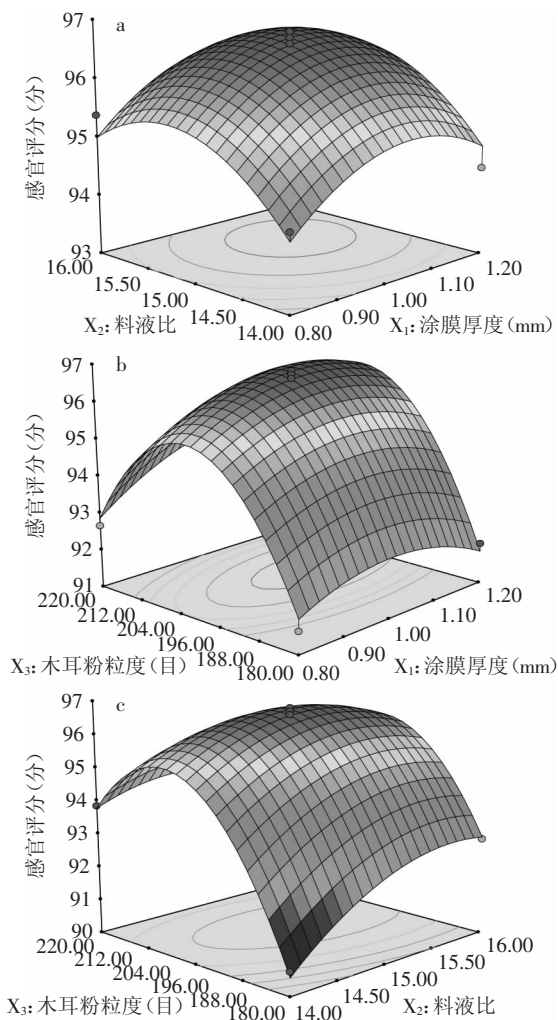


图4 各两因素交互作用响应面

Fig.4 Response surfaces of the interactive effects of each two factors

2.3.3 优化天然黑木耳纸生产工艺参数 通过回归方程得出最佳工艺参数为涂膜厚度1.07 mm、液料比15.23:1 mL/g、木耳粉粒度202.96目。在此条件下天然木耳纸感官评分为96.8分。为便于实际操作,将参数修正为涂膜厚度为1.1 mm、液料比为15.2:1 mL/g、木耳粉粒度为200目。采用修正后的工艺参数进行3次验证实验,制得天然木耳纸感官评分的平均值为97.2分,与理论预测值较为接近,表明数学模型对优化天然木耳纸生产工艺参数是可行的。

2.4 优化工艺参数对黑木耳纸物性的影响

在原工艺条件下,黑木耳纸物性为硬度7.14,内聚性0.65,弹性0.54,胶黏性4.28,咀嚼性0.83,感官评

(下转第297页)

Gaertn) plumule polysaccharides[J]. Food Chemistry, 2012, 135 (3):1818-1827.

[8] Z Du, H Liu, Z Zhang, et al. Antioxidant and anti-inflammatory activities of Radix Isatidis polysaccharide in murine alveolar macrophages[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2013, 58:329-335.

[9] D Ren, Y Zhao, Y Nie, et al. Hypoglycemic and hepatoprotective effects of polysaccharides from *Artemisia sphaerocephala* Krasch seeds[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2014, 69(8):296-306.

[10] H-L Tang, C Chen, S-K Wang, et al. Biochemical analysis and hypoglycemic activity of a polysaccharide isolated from the fruit of *Lycium barbarum* L[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2015, 77:235-242.

[11] 吴兰芳, 景永帅, 张振东, 等. 土党参多糖不同提取方法的比较研究[J]. 食品科学, 2012, 33(18):45-48.

[12] 张振东, 杨娟, 吴兰芳, 等. 土党参多糖对小鼠脑缺血/再灌注损伤的保护作用[J]. 中国药理学通报, 2011, 27(4):508-511.

[13] 彭梅, 张振东, 杨娟. 土党参多糖对小鼠耐缺氧能力的影响[J]. 中国老年学杂志, 2012, 32(6):1183-1185.

[14] 张振东, 杨娟, 吴兰芳, 等. 神经营养因子样土党参多糖促进小鼠学习记忆作用的实验研究[J]. 时珍国医国药, 2011, 22(8):1845-1847.

[15] 彭梅, 张振东, 杨娟. 土党参多糖对小鼠的抗疲劳作用[J]. 食品科学, 2011, 32(19):224-226.

[16] Z Zhang, F Wang, M Wang, et al. Extraction optimisation and antioxidant activities *in vitro* of polysaccharides from *Allium macrostemon* Bunge[J]. International Journal of Food Science and Technology, 2012, 47(4):723-730.

[17] Z Zhang, F Wang, M Wang, et al. A comparative study of the neutral and acidic polysaccharides from *Allium macrostemon* Bunge[J]. Carbohydrate Polymers, 2015, 117:980-987.

[18] S Wang, X Dong, H Ma, et al. Purification, characterisation and protective effects of polysaccharides from alfalfa on hepatocytes[J]. Carbohydrate Polymers, 2014, 112:608-614.

[19] G Ma, W Yang, A M Mariga, et al. Purification, characterization and antitumor activity of polysaccharides from *Pleurotus eryngii* residue[J]. Carbohydrate Polymers, 2014, 114:297-305.

[20] R-C Chien, M-T Yen, Y-H Tseng, et al. Chemical characteristics and anti-proliferation activities of *Ganoderma tsugae* polysaccharides[J]. Carbohydrate Polymers, 2015, 128:90-98.

[21] Q Deng, X Yang. Protective effects of *Gynostemma pentaphyllum* polysaccharides on PC12 cells impaired by MPP+ [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2014, 69:171-175.

[22] H Zhang, Y Cao, L Chen, et al. A polysaccharide from *Polygonatum sibiricum* attenuates amyloid - β - induced neurotoxicity in PC12 cells[J]. Carbohydrate Polymers, 2015, 117:879-886.

(上接第290页)

分87.34分,在最优工艺条件下,黑木耳纸物性为硬度5.42,内聚性1.71,弹性1.24,胶黏性5.35,咀嚼性1.37,物性指标均得到较大改善,且感官评分达到97.2分。

3 结论

本研究利用单因素和响应面实验对纯天然黑木耳纸生产工艺进行优化。结果表明:当涂膜厚度1.1 mm、液料比15.2:1 mL/g、黑木耳粉粒度200目时,天然木耳纸感官评分值为97.2分。方差分析结果表明影响因素由大到小依次为木耳粉粒度>液料比>涂膜厚度。在此工艺条件下,黑木耳纸物性为硬度5.42,内聚性1.71,弹性1.24,胶黏性5.35,咀嚼性1.37。各个指标达到最佳,感官评分值最高。

参考文献

[1] 林祖鑫. 药食兼用的黑木耳[J]. 解放军健康, 2005(3):32-35.

[2] 张才擎. 黑木耳药用研究的进展[J]. 中国中医药科技, 2001, 8(5):339-340.

[3] 周国华, 丁国萍. 黑木耳多糖降血脂作用的研究[J]. 现代食品科技, 2005, 21(1):46-48.

[4] 张秀娟, 于慧茹, 耿丹, 等. 黑木耳对荷瘤小鼠细胞免疫功能的影响研究[J]. 中成药, 2005, 27(6):691-693.

[5] 朱磊, 王振宇. 黑木耳多糖对小鼠抗疲劳作用的研究[J]. 营养学报, 2008, 30(4):430-432.

[6] 刘勇. 木耳重组食品的研究[J]. 中国食用菌, 2001(3):56-58.

[7] 孔祥辉, 王玉文, 马银鹏, 等. 黑木耳薄膜食品生产工艺研

究[J]. 中国新技术新产品, 2014(7):154-155.

[8] 杨春瑜. 响应曲面法优化黑木耳重组纸状风味休闲制品工艺研究[J]. 农产品加工(学刊), 2013(16):25-27.

[9] 吴瑞端. 黑木耳的质量标准及营养成分[J]. 中国林副特产, 1996, 36(1):21-22.

[10] 马永强, 韩春然, 刘静波. 食品感官检验[M]. 北京:化学工业出版社, 2005.

[11] 葛玉, 肖红, 张欣, 等. 真菌多糖的研究开发现状[J]. 食品研究与开发, 2005, 26(1):23-24.

[12] 张意静. 食品分析技术[M]. 北京:中国轻工业出版社, 2001, 56-78.

[13] 王万中. 实验的设计与分析[M]. 北京:高等教育出版社, 2004. 318-326.

[14] 黄钦德, 杨坚. 食品实验设计与统计分析[M]. 北京:中国农业大学出版社, 2002.

[15] 张素华, 时爱华, 葛庆丰, 等. 蔬菜纸加工技术参数研究[J]. 食品科学, 2002(7):87-92.

[16] 李晓文, 盛灿梅. 芹菜纸形食品的研制[J]. 食品科学, 1999(5):23.

[17] 张艳荣, 丰艳, 孙丽琴, 等. 响应面法优化米糠挤出工艺及其物性研究[J]. 食品科学, 2010, 31(20):146-151.

[18] 王大为, 杜彩霞, 周清涛, 等. 响应面法优化玉米皮纤维双螺杆挤出工艺[J]. 食品科学, 2011, 32(18):6-10.

[19] 杨春瑜. 黑木耳定型热压工艺设备及重组技术研究[D]. 哈尔滨:东北林业大学, 2004.