DOI:10.13652/j.spjx.1003.5788.2024.80511

真空油炸香菇脆片烫漂和浸渍工艺优化

赵之越[1] 廖梦雨[1] 聂远洋[1,2] 李 波[1,2] 李伟鹏[3] 周高丽[3]

（1. 河南科技学院食品学院,河南 新乡 453003; 2. 河南省果蔬加工及质量安全控制工程技术研究中心,河南 新乡 453003; 3. 河南世纪香食用菌开发有限公司,河南 许昌 461100）

摘要:[**目的**]优化烫漂和浸渍工艺条件,提高真空油炸香菇脆片品质。[**方法**]以新鲜香菇为原料,采用含油率、含水率、脆度、感官、色差等为评价指标,研究烫漂时间和浸渍时间、料液比、浸渍液组成对香菇脆片品质特性的影响。[**结果**]香菇脆片的最佳预处理工艺条件为香菇片厚度5 mm,沸水烫漂90 s,烫漂后的香菇片放入3倍浸渍液中常温浸渍3.7 h,浸渍液组成为麦芽糊精14.7%、麦芽糖浆49.0%、食盐1%。经真空油炸后可获得外观质地、风味口感俱佳的香菇脆片,产品含油率为6.57%,含水率为2.36%,脆度为7.18 N,且内部呈疏松多孔状结构。[**结论**]烫漂和浸渍对真空油炸香菇脆片品质影响显著,适宜的预处理工艺有助于制备低含油、高品质香菇脆片产品。

关键词:真空油炸;香菇;脆片;烫漂;浸渍

Optimization of blanching and soaking technology for vacuum-fried *Lentinus edodes* crispy

ZHAO Zhiyue[1] *LIAO Mengyu*[1] *NIE Yuanyang*[1,2] *LI Bo*[1,2] *LI Weipeng*[3] *ZHOU Gaoli*[3]

（1. *School of Food Science*, *Henan Institute of Science and Technology*, *Xinxiang*, *Henan* 453003, *China*; 2. *Henan Engineering Research Center of Fruit and Vegetable Processing and Quality Safety Control*, *Xinxiang*, *Henan* 453003, *China*; 3. *Henan Shijixiang Edible Mushroom Development Co.*, *Ltd.*, *Xuchang*, *Henan* 461100, *China*）

Abstract: [**Objective**] This study aimed to optimize the blanching time and soaking process conditions to improve the quality of vacuum-fried *Lentinus edodes*. [**Methods**] Using fresh *L. edodes* as the material, the effects of blanching time and soaking process conditions on the quality characteristics of vacuum-fried *L. edodes* crispy were investigated. Oil content, moisture content, brittleness, sensory perception and color difference used as the evaluating indicators. [**Results**] The optimal pretreatment conditions for *L. edodes* crispy were as followed: 5 mm thick *L. edodes* slices were blanched in boiling water for 90 seconds. Then, the *L. edodes* slices were immersed in three times of soaking solution at room temperature for 3.7 hours. The soaking solution consisted of 1% salt, 14.7% maltodextrin, and 49.0% maltose syrup. After vacuum frying, *L. edodes* crispy with excellent appearance, texture, flavor, and taste can be obtained. Its oil content, moisture content and brittleness were 6.57%, 2.36% and 718 g, respectively. Scanning electron microscopy observation showed that *L. edodes* crispy had a porous structure inside. [**Conclusion**] Blanching and soaking have a significant impact on the quality of vacuum-fried *L. edodes* crispy. A suitable pre-treatment process helps to prepare low oil and high quality *L. edodes* crispy products.

Keywords: vacuum frying; *Lentinus edodes*; crispy slices; blanching; soaking

香菇(*Lentinus edodes*)又名香蕈、花菇、冬菇等,在中国已有800多年栽培历史[1]。

真空油炸技术是在真空条件下进行的低温油炸,不仅可有效抑制油脂氧化等副反应[2],还能降低产品含油率[3],获得色、香、味、形、养兼备的休闲食品[4],尤其适合于果蔬、食用菌等原料的深加工。蔡彦志等[5]报道了香菇脆的最佳工艺条件为油炸温度82 ℃,油炸时间4 000 s。弓志青等[6]通过优化金针菇真空油炸工艺,将产品含油率降至34.3%,油炸前的预处理能够有效改善产品品质。薛淑静等[7]研究了香菇脆片的护色与浸糖工艺。Ren等[8]研

基金项目:中原科技创新领军人才项目(编号:224200510019)

通信作者:李波(1973—),男,河南科技学院教授,博士。E-mail:libohnxx@163.com

收稿日期:2024-06-03 **改回日期:**2024-11-18

究表明，焯水、涂膜、浸渍联合预处理能显著降低香菇脆片的含油率。虽然有关香菇真空油炸的研究较多，但市场上的香菇脆片产品仍存在含油较高、酥脆度不够、色泽不理想等问题，影响消费者的接受度。研究拟以新鲜香菇为原料，考察烫漂时间和浸渍条件（麦芽糖浆添加量、麦芽糊精添加量、料液比、浸渍时间）对香菇脆片品质的影响，以期制作品质好、含油低的香菇脆片产品，为香菇的深加工提供依据。

1　材料与方法

1.1　材料与试剂

香菇：市售；

麦芽糊精：食品级，山东西王糖业有限公司；

麦芽糖浆：食品级，禹城市味韵食品有限公司；

食用盐：食品级，中盐河南盐业物流配送有限公司；

棕榈液油：食品级，新乡市卫滨区康宏粮油有限公司；

石油醚（30~60 ℃）：分析纯，天津市大茂化学试剂厂；

多酚氧化酶（PPO）活性检测试剂盒：北京索莱宝科技有限公司。

1.2　仪器与设备

真空油炸机：JS-05 型，上海劲森轻工机械有限公司；

质构仪：TA-XT Plus 型，英国 SMS 公司；

扫描电子显微镜：Quanta 200 型，美国 FEI 公司；

可见分光光度计：722N 型，上海菁华科技仪器公司；

精密电脑色差仪：NR200 型，深圳市三恩时科技有限公司；

高速冷冻离心机：LC-LX-HR165A 型，上海力辰仪器科技有限公司；

电热恒温鼓风干燥箱：DHG-9101-3SA 型，上海三发科学仪器有限公司。

1.3　方法

1.3.1　真空油炸香菇脆片的制备　选取无病害、无损伤的新鲜香菇，清水洗净。切除菇根，将菇伞切成 5 mm 厚的菇片。称取 300 g 菇片投入 3 L 沸水中烫漂，烫漂后取出菇片立即放入清水中冷却。捞出菇片，沥水，放入浸渍液中室温浸渍 4 h。沥干水分，平铺至托盘上，−18 ℃冷冻 12 h。冷冻后的菇片放入油炸篮中，棕榈油预热至 75 ℃后，采用三段（75，80，85 ℃）真空油炸工艺，油炸时间分别为 500，800，300 s，真空度绝对值 97 kPa，脱油频率 80 Hz，脱油时间 120 s。油炸后菇片平铺于不锈钢盘冷却至室温，放入聚乙烯袋中密封保存。

1.3.2　烫漂时间对香菇脆片品质的影响　将菇片投入沸水中，下压使其完全浸没后开始计时，分别烫漂 0，30，60，90，120，150 s。烫漂后将菇片于料液比（$m_{菇片}:V_{浸渍液}$）为 1∶1（g/mL）的浸渍液（1% 食用盐、40% 麦芽糖浆和 10% 麦芽糊精混合溶液）中浸渍 4 h，考察烫漂时间对香菇脆片品质特性和 PPO 活性的影响。

1.3.3　浸渍工艺单因素试验　香菇片沸水烫漂 90 s，固定基础浸渍工艺参数为：浸渍液组成为 1% 食用盐、40% 麦芽糖浆、10% 麦芽糊精，料液比（$m_{菇片}:V_{浸渍液}$）1∶1（g/mL），浸渍时间 4 h。分别考察麦芽糖浆添加量（0%，10%，20%，30%，40%，50%）、麦芽糊精添加量（0%，5%，10%，15%，20%，25%）、浸渍料液比（$m_{菇片}:V_{浸渍液}$）[1∶1，1∶2，1∶3，1∶4，1∶5（g/mL）]、浸渍时间（1，2，3，4，5 h）对香菇脆片品质特性的影响。

1.3.4　浸渍工艺响应面试验　在单因素试验基础上，采用 Box-Benhken 组合设计进行响应面试验，以麦芽糊精添加量、麦芽糖浆添加量和浸渍时间为自变量，以 CRITIC 法计算权重系数后所得的综合评分为响应值，优化香菇片浸渍工艺条件。

1.3.5　CRITIC 法计算权重　参照黄潇等[9]的方法，对香菇脆片含油率进行逆向化处理，对感官评分进行正向化处理，再进行权重系数计算。

1.3.6　综合评分计算　参照张佳旭等[10]的方法，按式（1）计算香菇脆片的综合评分。

$$W=[(1-H_1/H_2)\times 43.50\%+(H_3/H_4)\times 56.50\%]\times 100, \quad (1)$$

式中：

W——香菇脆片的综合评分；

H_1——香菇脆片含油率，%；

H_2——香菇脆片最高含油率，%；

H_3——香菇脆片感官评分；

H_4——香菇脆片最高感官评分。

1.3.7　香菇脆片品质分析

（1）含油率：参照 GB 5009.6—2016。

（2）含水率：参照 GB 5009.3—2016。

（3）脆度：参照 Devi 等[11]的方法。

（4）色差值：采用色差仪测定，每组样品平行 5 片。

（5）PPO 活性：以未烫漂香菇片为对照组，按 PPO 活性检测试剂盒说明书进行测定，新鲜香菇片酶活力计为 100%。

（6）扫描电镜（SEM）：采用 SEM 观察 6 种不同处理香菇脆片的微观结构。处理 1：菇片未经烫漂、浸渍处理，冷冻后真空油炸；处理 2：菇片经烫漂、冷冻后真空油炸；处理 3：菇片经浸渍、冷冻后真空油炸；处理 4：菇片经烫漂、20% 麦芽糊精溶液浸渍、冷冻后真空油炸；处理 5：菇片经烫漂、40% 麦芽糖浆溶液浸渍、冷冻后真空油炸；处理 6：菇片经烫漂、浸渍（43.6% 麦芽糖浆、14.7% 麦芽糊精、1% 食用盐）、冷冻处理后真空油炸。将香菇脆片纵切为 3 mm×3 mm×1 mm，脆片中层切面朝上，用导电胶贴附于样品台，喷金后观察，电压 20 kV，高真空模式，放大倍

数500倍。

(7)感官评定:由10位经专业培训的人员按表1对真空油炸香菇脆片进行感官评定。

表1　香菇脆片的感官评分标准

Table 1　Sensoral standard of *L. edodes* crispy

项目	评分标准	得分
外形(20分)	片状饱满,无皱缩	14~20
	片状饱满,有皱缩	8~13
	表面粗糙,皱缩严重	≤7
色泽(20分)	切面亮白,颜色均匀	14~20
	切面黄白交错	8~13
	切面发暗	≤7
风味(20分)	有香菇味,鲜甜可口	14~20
	无香菇味,过甜或过淡	8~13
	菇味与甜感不被接受	≤7
口感(20分)	松脆适宜,无油腻感	14~20
	口感发软或偏硬,有油腻感	8~13
	无酥脆感,油腻感重	≤7
喜好度(20分)	喜欢	14~20
	一般	8~13
	不喜欢	≤7

1.4　数据处理

所有试验均重复3次,结果用平均值±标准差表示。采用Excel、SPSS 20.0软件进行统计分析、显著差异分析;使用Origin 2022软件绘图;使用Design-Expert 10.0软件分析Box-Benhken响应面优化试验。

2　结果与分析

2.1　烫漂时间对香菇脆片品质的影响

烫漂能够钝化果蔬原料中多酚氧化酶等活性,防止后续加工过程的酶促褐变,并能破坏细胞结构,有助于浸渍过程的物料交换。烫漂一般采用高温短时工艺[12],即在尽可能短的时间内使氧化酶失活,以减少烫漂过程带来的营养成分破坏、流失等副反应[13]。沸水条件下烫漂时间对香菇脆片品质特性的影响如图1和表2所示。

表2　烫漂时间对香菇脆片色泽的影响†

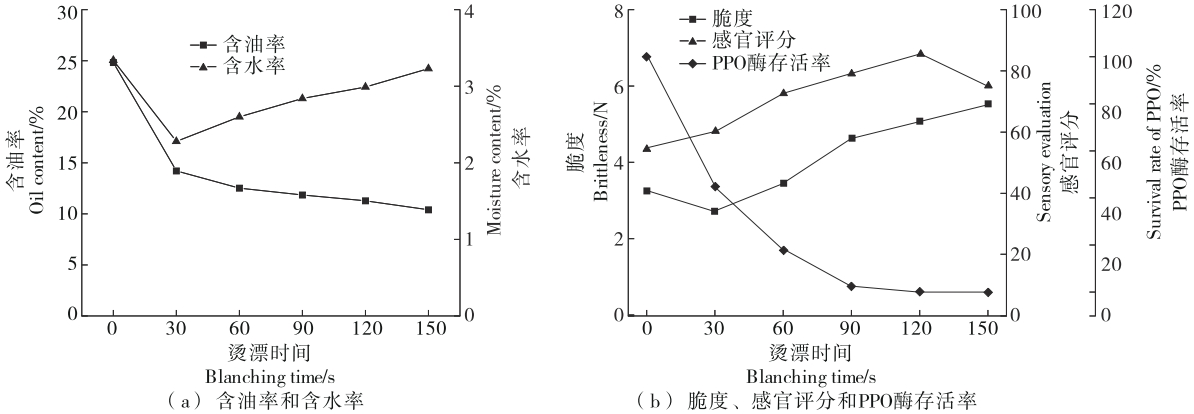
Table 2　Effects of blanching time on the color of *L. edodes* crispy

烫漂时间/s	L^*	a^*	b^*
0	64.49±0.22^{c}	8.41±1.32^{a}	26.04±2.09
30	67.00±1.59^{bc}	6.23±1.47^{b}	25.05±2.43
60	70.28±1.12^{b}	6.64±0.79^{ab}	25.47±0.68
90	72.27±1.53^{ab}	6.99±0.56^{ab}	25.90±2.47
120	73.82±1.70^{a}	6.23±1.26^{b}	25.47±1.23
150	74.48±1.79^{a}	6.08±0.11^{b}	26.70±1.81

†　小写字母不同表示差异显著($P<0.05$)。

图1(a)显示,未经烫漂处理的香菇脆片含油率高达24.83%。随着烫漂时间的延长,香菇脆片含油率逐渐降低,烫漂30 s后降幅变缓。未经烫漂处理的香菇脆片含水率为3.57%,烫漂30 s后有所下降,之后又逐渐上升,但总体变化较小。适度烫漂可显著影响香菇脆片的含油率,可能是烫漂破坏了菇片组织细胞,使其在浸渍时更容易吸收浸渍液中的物料,缩短了油炸时间,减少了油脂进入菇片。林奕楠等[14]研究表明,烫漂有助于果蔬物料浸渍时的固形物吸收。

香菇褐变主要是由多酚氧化酶(PPO)与酚类物质的酶促褐变引起的[15]。图1(b)显示,随着烫漂时间的延长,PPO活性迅速降低,烫漂90 s时其存活率仅为2.23%,继续延长烫漂时间对PPO活性影响较小。随着烫漂时间的延长,脆度呈上升趋势,在150 s时达最大。经烫漂处理后,香菇脆片的感官评分显著上升,在120 s时达最大值。



(a) 含油率和含水率　　(b) 脆度、感官评分和PPO酶存活率

图1　烫漂时间对香菇脆片品质的影响

Figure 1　Effects of blanching time on the quality of *L. edodes* crispy

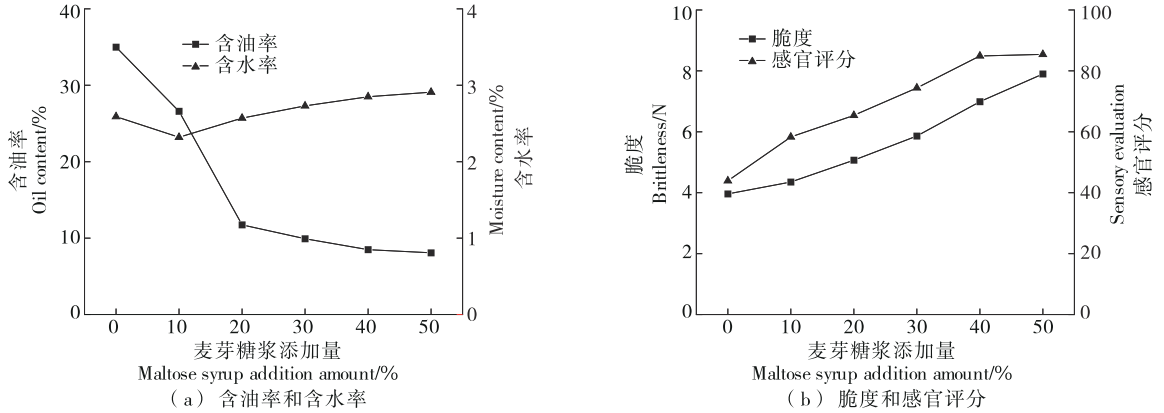
烫漂 150 s时，香菇脆片的外形呈少量卷曲与皱缩，且口感偏硬。

表 2 显示，随着烫漂时间的延长，香菇脆片的 L^* 值（即白度）呈上升趋势，90 s后白度较好，说明适度烫漂处理能够有效改善香菇脆片品质。烫漂对色泽和酶活性的影响存在相关性，陈集元[16]研究发现，烫漂温度与烫漂时间均会使香菇脆片的白度值呈先升后降趋势。马征祥[17]研究表明，95 ℃烫漂 2 min可使 2 mm厚杏鲍菇片中的PPO完全失活。综合考虑，香菇片的烫漂条件以 100 ℃烫漂 90 s为宜。

2.2　浸渍工艺优化

2.2.1　麦芽糖浆添加量　由图 2(a)可知，未添加麦芽糖浆时，香菇脆片含油率高达 34.98%，当麦芽糖浆添加量为 20%时，含油率降为 11.74%，随后含油率降幅变缓，当麦芽糖浆添加量为 50%时，含油率可降至 8.08%。真空油炸时，菇片组织中冻结的冰会迅速升华，留下大量空隙，使得油脂大量进入，因而产品的含油率较高。若浸渍液中添加麦芽糖浆，其可与菇片中的水发生物料交换，置换出一部分水并填充至菇片组织中，一方面降低了菇片的含水量，减少了油炸时间；另一方面，麦芽糖浆的亲水性强，在油炸过程中可阻碍油脂的进入，从而大大降低产品含油率。香菇脆片的含水率先略有下降，再逐渐上升，可能是麦芽糖浆的填充效应[18]和保湿效应[19]综合作用的结果。

图 2(b)显示，随着麦芽糖浆添加量的增加，香菇脆片的脆度与感官评分呈上升趋势。当麦芽糖浆添加量为 40%时，香菇脆片的感官评分不再增加，是因为麦芽糖浆添加量过多会导致产品甜度过高，且掩盖了香菇自身的鲜味，香菇脆片之间还会出现少许粘连[20]。综合考虑，麦芽糖浆添加量以 40%为宜。



（a）含油率和含水率　（b）脆度和感官评分

图 2　麦芽糖浆添加量对香菇脆片品质的影响

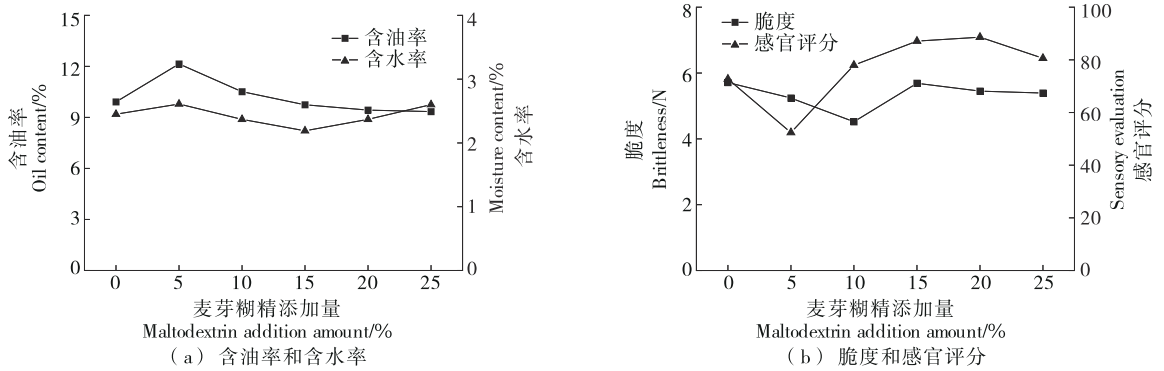
Figure 2　Effects of maltose syrup on the quality of *L. edodes* crispy

2.2.2　麦芽糊精添加量　由图 3(a)可知，当麦芽糊精添加量为 5%时，香菇脆片含油率由 9.91%升至 12.14%，随后含油率逐渐降至 9.31%。香菇脆片含水率虽略有增减，但总体在 2.5%左右浮动。麦芽糊精添加量为 5%~10%的含油率高于对照组，可能是因为麦芽糊精可在菇片表面形成包膜[21]，影响麦芽糖浆的吸收，导致脆片含油率增加；同时，麦芽糊精本身也能填充到菇片内部[22]，降低产品含油率。因此，香菇脆片含油率随麦芽糊精添加量的变化是两种因素综合作用的结果。

图 3(b)显示，香菇脆片的脆度随麦芽糊精添加量的增加先降低后升高，添加量为 15%时脆度最高；感官评分在 5%添加量时有所降低，随后逐渐升高，在 15%~20%时呈较大值。这可能是麦芽糊精添加量过多，阻碍了麦芽糖浆的吸收，也会使香菇脆片的淀粉感增加、菇香味和脆度减弱，从而导致感官品质下降。韩维等[23]研究发现，麦芽糊精添加量过多时产品感官品质变差，脆度减弱。综合考虑，麦芽糊精添加量以 15%为宜。

2.2.3　料液比　由图 4 可知，随着浸渍液体积的增加，香菇脆片含油率呈下降趋势，含水率则略有上升，脆度逐渐升高，感官评分在料液比（$m_{菇片}$∶$V_{浸渍液}$）为 1∶3（g/mL）时达最大值。这是因为料液比的增大提高了菇片吸收溶质的速率，因而产品含油率降低、脆度增加，若菇片中的麦芽糖浆和麦芽糊精含量过高，也会对香菇脆片品质带来负面影响[24]。综合考虑，浸渍料液比（$m_{菇片}$∶$V_{浸渍液}$）以 1∶3（g/mL）为宜。

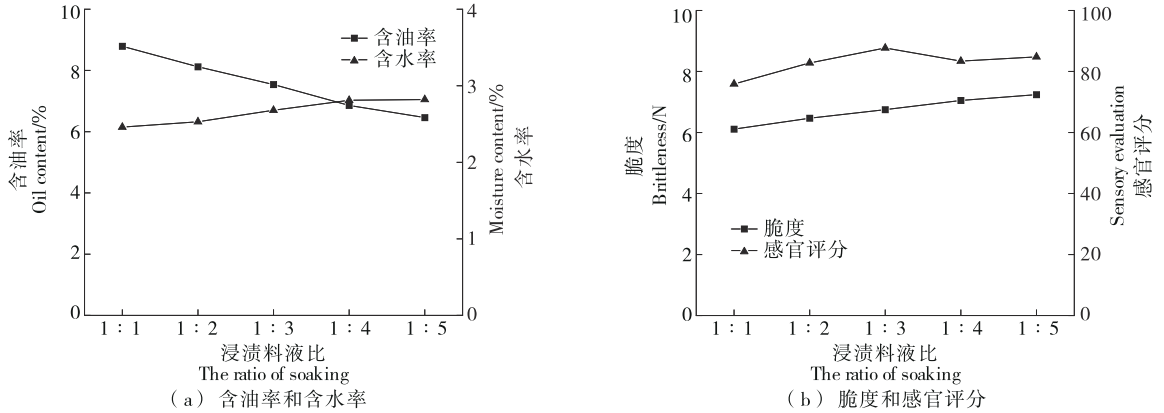
2.2.4　浸渍时间　图 5 显示，随着浸渍时间的延长，香菇脆片含油率呈下降趋势，浸渍 3 h后趋于稳定；含水率则略有下降，但变化较小；脆度呈上升趋势，在 3 h后增幅变缓；感官评分呈升高趋势，在 3~4 h达最大值，随后分值下降，其整体变化趋势与料液比的相近。王桂桢等[25]研究表明，浸渍时间过长会降低香菇脆片的感官品质。通过超声辅助浸渍等手段可提高浸渍效率、缩短浸渍时间[26]。



（a）含油率和含水率　（b）脆度和感官评分

图3　麦芽糊精添加量对香菇脆片品质的影响

Figure 3　Effects of maltodextrin addition on the quality of *L. edodes* crispy



（a）含油率和含水率　（b）脆度和感官评分

图4　浸渍料液比对香菇脆片品质的影响

Figure 4　Effects of material-liquid ratio on the quality of *L. edodes* crispy

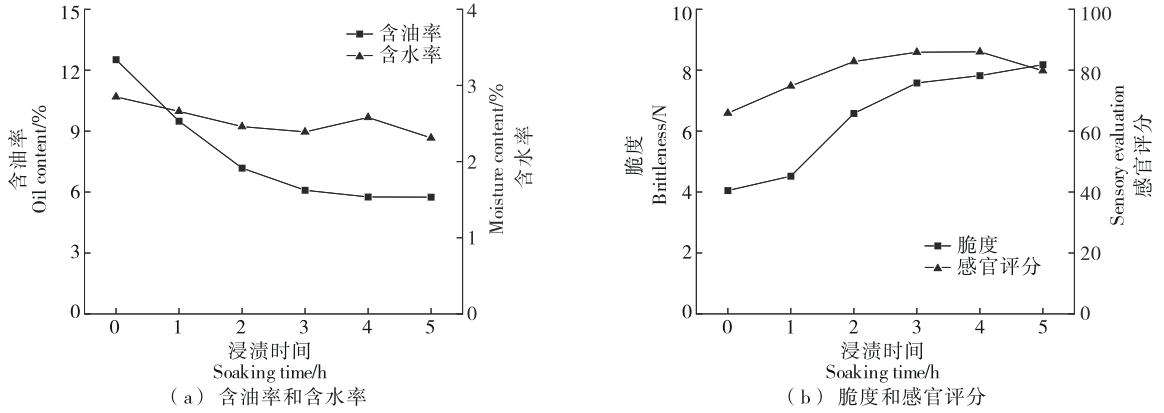
综合考虑,浸渍时间以3 h为宜。

2.2.5　响应面优化试验　基于单因素试验结果,以麦芽糊精添加量(10%,15%,20%)、麦芽糖浆添加量(30%,40%,50%)、浸渍时间(2,3,4 h)为自变量,以综合评分为响应值,使用Box-Benhken进行响应面优化试验。响应面试验因素水平见表3,CRITIC权重计算结果见表4,响应面试验设计及结果见表5。

利用Design-Expert 10.0软件进行多元回归拟合分析,得二次多项回归方程:

$$D=71.85+1.75A+7.12B+5.95C-1.61AB+0.70AC-0.72BC-0.51A^2-5.15B^2-4.72C^2。\quad(2)$$

由表6可知,模型$P<0.000\ 1$,极显著;失拟项$P=$



（a）含油率和含水率　（b）脆度和感官评分

图5　浸渍时间对香菇脆片品质的影响

Figure 5　Effects of soaking time on the quality of *L. edodes* crispy

表 3　响应面试验设计因素和水平

Table 3　The factor and level of response surface experiment design

水平	A 麦芽糊精添加量/%	B 麦芽糖浆添加量/%	C 浸渍时间/h
−1	10	30	2
0	15	40	3
1	20	50	4

表 4　CRITIC 权重计算结果

Table 4　CRITIC weight calculation results

指标	Y_1 含油率	Y_2 感官评分
变异性	0.253	0.329
冲突性	0.245	0.245
信息量	0.062	0.081
权重/%	43.50	56.50

表 5　响应面试验设计及结果

Table 5　The results of response surface experiment

试验号	A	B	C	Y_1 含油率/%	Y_2 感官评分	综合评分
1	−1	1	0	6.70	83.6	72.63
2	−1	−1	0	10.31	75.6	54.96
3	−1	0	1	6.97	82.4	70.93
4	1	−1	0	8.89	80.4	62.95
5	1	1	0	6.18	83.2	74.20
6	1	0	1	5.95	82.5	74.57
7	0	1	1	6.28	83.5	74.04
8	0	0	0	7.86	88.1	71.40
9	0	1	−1	8.50	79.8	63.94
10	0	−1	1	8.94	78.3	61.45
11	0	−1	−1	12.42	76.4	48.07
12	−1	0	−1	9.30	78.1	60.07
13	0	0	0	7.56	86.2	71.26
14	0	0	0	7.56	87.3	71.95
15	0	0	0	7.58	89.8	73.45
16	0	0	0	7.99	88.5	71.20
17	1	0	−1	8.92	77.3	60.89

0.375 1＞0.05，不显著；相关系数 R^2=0.992 5，R^2_{Adj}=0.982 9，说明该模型与实际情况拟合度高，能较好地预测实际情况。B、C、B^2、C^2项对综合评分影响极显著（P＜0.01），A、AB项对综合评分影响显著（P＜0.05）。由 F 值可推断各因素影响香菇脆片综合评分的主次顺序为麦芽糖浆添加量＞浸渍时间＞麦芽糊精添加量。

对回归方程进行分析，得到最佳浸渍工艺条件为麦芽糊精添加量 14.676 8%，麦芽糖浆添加量 49.042 2%，浸渍时间 3.753 21 h，此时香菇脆片综合评分为 75.336 2 分。

表 6　回归方程方差分析†

Table 6　Analysis of variance for the regression model

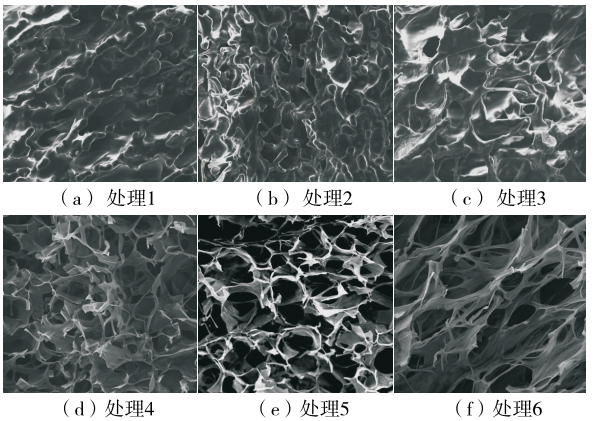
来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值
模型	950.17	9	105.57	103.31	＜0.000 1**
A	24.57	1	24.57	24.04	0.001 7*
B	405.84	1	405.84	397.15	＜0.000 1**
C	283.46	1	283.46	277.39	＜0.000 1**
AB	10.30	1	10.30	10.08	0.015 6*
AC	1.99	1	1.99	1.95	0.205 7
BC	2.07	1	2.07	2.03	0.197 3
A^2	1.11	1	1.11	1.09	0.331 9
B^2	111.83	1	111.83	109.43	＜0.000 1**
C^2	93.94	1	93.94	91.93	＜0.000 1**
残差	7.15	7	1.02		
失拟项	3.61	3	1.20	1.36	0.375 1
纯误差	3.54	4	0.89		
总变异	957.32	16			

†　* P＜0.05；** P＜0.01。

考虑到实际操作情况，将最佳工艺条件修正为麦芽糊精添加量 14.7%，麦芽糖浆添加量 49.0%，浸渍时间 3.7 h，测得香菇脆片含油率为 6.57%，感官评分为 86.3，综合评分为 74.79，与预测值接近。

2.3　香菇脆片的微观结构

由图 7 可知，未经烫漂和浸渍处理（处理 1）的香菇脆片内部结构排列紧密、孔隙较小，宏观上表现为香菇脆片体积皱缩、质地硬、酥脆性差。经烫漂（处理 2）或浸渍处理（处理 3）后，香菇脆片的内部结构有所改善，部分网络结构孔隙度有所增加，但总体不太均匀。在浸渍液中单独添加麦芽糊精（处理 4）或麦芽糖浆（处理 5），均可使香菇脆片内部形成疏松多孔的结构，但麦芽糖浆组孔隙更



（a）处理1　（b）处理2　（c）处理3

（d）处理4　（e）处理5　（f）处理6

图 6　不同处理的香菇脆片微观结构图

Figure 6　Effects of soaking time on the quality of *L. edodes* crispy（×500）

大、孔壁更厚,因而产品的酥脆度更好。浸渍液中同时添加了麦芽糊精和麦芽糖浆(处理6)的香菇脆片孔隙结构更加疏松、孔隙度更大,部分孔隙壁被破坏,可能是因为菇片在真空油炸时水分快速蒸发造成的[27],较大的孔隙度使得香菇脆片口感更加酥脆。陈汉勇等[28]报道,经麦芽糖浆浸渍的香菇脆孔隙结构更为平整;潘汉冬等[29]研究表明,片层多孔结构使香菇脆质地酥脆,与试验结果一致。

3 结论

烫漂和浸渍处理对香菇脆片的品质有较大影响,且缺一不可。香菇脆片的最佳预处理工艺条件为5 mm菇片,沸水烫漂时间90 s,烫漂后的菇片放入3倍浸渍液中常温浸渍3.7 h,浸渍液组成为1%食盐、49.0%麦芽糖浆和14.7%麦芽糊精。经真空油炸后可获得外观质地、风味口感俱佳的香菇脆片产品,其含油率为6.57%,含水率为2.36%,脆度7.18 N。与未经预处理的香菇脆片相比,经烫漂和浸渍后再真空油炸的香菇脆片,其内部微观孔隙结构更加疏松、孔隙度更大,因此表现为酥脆度更好。浸渍液添加麦芽糖浆能降低香菇脆片含油率,但含糖量增高,限制着消费人群的需求,亟需研制低油低糖的香菇脆片产品。

参考文献

[1] 陈章娥. 香菇的应用价值与前景展望[J]. 现代食品, 2023, 29(6): 26-28.
CHEN Z E. Application value and prospect of *Lentinus edodes* [J]. Modern Food, 2023, 29(6): 26-28.

[2] CHANG C, WU G C, ZHANG H, et al. Deep-fried flavor: characteristics, formation mechanisms, and influencing factors [J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2020, 60(9): 1 496-1 514.

[3] PANDEY A K, RAVI N, CHAUHAN O P. Quality attributes of vacuum fried fruits and vegetables: a review[J]. Journal of Food Measurement and Characterization, 2020, 14(3): 1 543-1 556.

[4] 王纯, 戴艳军, 孙玥, 等. 不同品种菌菇加工脆片适宜性评价[J]. 食品与机械, 2021, 37(4): 171-175, 238.
WANG C, DAI Y J, SUN Y, et al. Suitability evaluation for processing chips from different mushroom varieties[J]. Food & Machinery, 2021, 37(4): 171-175, 238.

[5] 蔡彦志, 贺晓光. 香菇脆加工工艺研究[J]. 现代食品, 2018(18): 110-113.
CAI Y Z, HE X G. Study on the processing technology of mushroom crisp[J]. Modern Food, 2018(18): 110-113.

[6] 弓志青, 王雪玲, 孔令宝, 等. 低含油率真空油炸金针菇加工工艺研究[J]. 中国果菜, 2023, 43(3): 14-17, 30.
GONG Z Q, WANG X L, KONG L B, et al. Study on processing technology of low oil content vacuum-fried *Flammulina velutipes*[J]. China Fruit & Vegetable, 2023, 43(3): 14-17, 30.

[7] 薛淑静, 王肖莉, 李露, 等. 真空油炸香菇脆片的护色与浸糖工艺研究[J]. 农产品加工, 2016(13): 38-41, 43.
XUE S J, WANG X L, LI L, et al. The process optimization of color protection and dipping sugar concentration for vacuum-frying mushroom chips[J]. Farm Products Processing, 2016(13): 38-41, 43.

[8] REN A Q, PAN S Y, LI W R, et al. Effect of various pretreatments on quality attributes of vacuum-fried shiitake mushroom chips[J]. Journal of Food Quality, 2018, 2 018: 4510126.

[9] 黄潇, 刘婧, 付小梅, 等. 基于CRITIC法计算权重系数的Box-Behnken响应面法优化栀子炭微波炮制工艺研究[J]. 中草药, 2017, 48(6): 1 133-1 138.
HUANG X, LIU Q, FU X M, et al. Optimization of microwave processing technology for carbonized *Gardenia jasminoides* by Box-Behnken response surface methodology based on CRITIC weighted evaluation[J]. Chinese Traditional and Herbal Drugs, 2017, 48(6): 1 133-1 138.

[10] 张佳旭, 黄成凤, 朱兴龙, 等. 基于CRITIC结合Box-Behnken响应面法的厚朴产地趁鲜加工与炮制一体化工艺研究[J]. 中草药, 2023, 54(17): 5 560-5 567.
ZHANG J X, HUANG C F, ZHU X L, et al. Research on integration of fresh processing and processing process of *Magnolia officinalis* origin based on CRITIC combined with Box-Behnken response surface method[J]. Chinese Traditional and Herbal Drugs, 2023, 54(17): 5 560- 5 567.

[11] DEVI S, ZHANG M, LAM C L. Effect of ultrasound and microwave assisted vacuum frying on mushroom (*Agaricus bisporus*) chips quality[J]. Food Bioscience, 2018, 25: 111-117.

[12] 韩宏伟, 谢博文, 许旦, 等. 漂烫对真空油炸银杏果品质的影响[J]. 食品与机械, 2016, 32(1): 179-182, 212.
XU H W, XIE B W, XU D, et al. Effect of blanching treatments on quality of vacuum fried ginkgo kernel[J]. Food & Machinery, 2016, 32(1): 179-182, 212

[13] 邓珊, 唐小闲, 林芳, 等. 真空油炸果蔬脆片预处理技术研究进展[J]. 食品研究与开发, 2021, 42(18): 204-210.
DENG S, TANG X X, LIN F, et al. Research and development of pretreatment technology for vacuum frying fruit and vegetable chips[J]. Food Research and Development, 2021, 42(18): 204-210.

[14] 林奕楠, 陈树鹏, 余洋洋, 等. 漂烫对三华李蜜饯加工过程中还原糖和品质的影响[J]. 农产品加工, 2022(14): 36-40, 44.
LIN Y N, CHEN S P, YU Y Y, et al. Effect of blanching on reducing sugar and quality of Sanhua plum[J]. Farm Products Processing, 2022(14): 36-40, 44.

[15] 吴咏, 金建, 付秀丽, 等. 超声波、紫外线、超声波联合紫外线对鲜切香菇多酚氧化酶与过氧化物酶的钝化及其机理研究[J]. 食品工业科技, 2020, 41(20): 20-25, 32.

WU Y, JIN J, FU X L, et al. Effects of ultrasound, ultraviolet, ultrasound synchronized ultraviolet on the inactivation of polyphenol oxidase and peroxidase of fresh-cut *Lentinus edodes* and its mechanisms[J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(20): 20-25, 32.

[16] 陈集元 . 真空油炸香菇脆片加工工艺的研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2016: 9-19.
CHEN J Y. Study on vacuum fried processing technology of *Lentinus edodes*[D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2016: 9-19.

[17] 马征祥 . 杏鲍菇脆片工艺优化及产品开发研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2016: 9-18.
MA Z X. The *Pleurotus eryngii* chips process technology optimization research and product development[D]. Tai'an: Shandong Agricultural University, 2016: 9-18.

[18] SOSA-MORALES M E, SOLARES-ALVARADO A P, AGUILERA-BOCANEGRA S P, et al. Reviewing the effects of vacuum frying on frying medium and fried foods properties [J]. International Journal of Food Science & Technology, 2022, 57(6): 3 278-3 291.

[19] Sharanabasava, RAVINDRA M R, PRAVEEN KUMAR Y S, et al. Evaluation of vacuum impregnation as a novel approach for soaking of fried *Gulabjamun* balls[J]. Journal of Food Science and Technology, 2019, 56(5): 2 764-2 770.

[20] 马菲菲, 胡昕, 李荣辉, 等 . 百香果复合果糕制备工艺优化研究[J]. 农产品加工, 2022(20): 43-47.
MA F F, HU X, LI R H, et al. Study on the preparation process optimizing of compound passion fruitcake[J]. Farm Products Processing, 2022(20): 43-47.

[21] MARTÍNEZ-PINEDA M, YAGÜE-RUIZ C, VERCET A. Frying conditions, methyl cellulose, and K-carrageenan edible coatings: useful strategies to reduce oil uptake in fried mushrooms[J]. Foods, 2021, 10(8): 1 694.

[22] 王敏 . 杏鲍菇真空低温脱水工艺研究及产品开发[D]. 南京: 南京农业大学, 2012: 17-25.
WANG M. Study on vacuum low temperature dehydration process and product development of apricot mushroom[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2012: 17-25.

[23] 韩维, 张林婷, 许兴华, 等 . 香菇脆片的研制及干燥方式对产品品质的影响[J]. 中国调味品, 2022, 47(12): 37-45.
HAN W, ZHANG L T, XU X H, et al. Preparation of *Lentinus edodes* chips and effect of drying methods on product quality [J]. China Condiment, 2022, 47(12): 37-45.

[24] 王辉, 刘敏, 董楠, 等 . 真空油炸苹果脆片预处理工艺优化[J]. 食品工业科技, 2019, 40(17): 184-190.
WANG H, LIU M, DONG N, et al. Optimization of pretreatment technique for the vacuum fried apple chips[J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(17): 184-190.

[25] 王桂桢, 何璞, 占锋 . 香菇脆片加工工艺参数的筛选[J]. 保鲜与加工, 2016, 16(3): 49-54, 66.
WANG G Z, HE P, ZHAN F. Screening process parameters of mushroom chips[J]. Storage and Process, 2016, 16(3): 49-54, 66.

[26] REN A Q , CAO Z Z, TANG X X, et al. Reduction of oil uptake in vacuum fried *Pleurotus eryngii* chips via ultrasound assisted pretreatment[J]. Frontiers in Nutrition, 2022, 9: 1037652.

[27] DEVI S, ZHANG M, JU R H, et al. Water loss and partitioning of the oil fraction of mushroom chips using ultrasound-assisted vacuum frying[J]. Food Bioscience, 2020, 38: 100753.

[28] 陈汉勇, 徐国波, 杨娟, 等 . 香菇脆的低温真空油炸工艺优化[J]. 现代食品科技, 2021, 37(12): 197-204.
CHEN H Y, XU G B, YANG J, et al. Optimization of low-temperature vacuum fried process for shiitake mushroom crisps [J]. Modern Food Science and Technology, 2021, 37(12): 197-204.

[29] 潘洪冬, 李江涛, 谢静, 等 . 冻结条件对酥脆香菇品质的影响[J]. 现代食品科技, 2016, 32(3): 259-264.
PAN H D, LI J T, XIE J, et al. Effect of freezing conditions on the quality of crispy *Lentinus edodes*[J]. Modern Food Science and Technology, 2016, 32(3): 259-264.