

响应面法优化苔麸面条配方与工艺

丁香丽, 陈冬铃, 张莉莉, 周晓燕*

(扬州大学 旅游烹饪学院, 江苏 扬州 225127)

摘要: 采用苔麸部分替代小麦面粉制作苔麸面条。以感官评分为响应值,通过单因素试验结合响应面法对苔麸面条配方与工艺进行优化,并研究苔麸的加入对面条品质的影响。结果表明:当苔麸添加量(质量比)为17.31%、食盐添加量为1.74%、水添加量为37.57%、压延次数为11次时,获得的苔麸面条具有较好的感官品质,能够满足消费者对感官品质的需求。

关键词: 苔麸;面条;响应面优化;配方;烹饪工艺

中图分类号: TS 972.132

文献标志码: A

文章编号: 2095-8730(2020)04-0042-05

苔麸(Teff 或 tef)又称埃塞俄比亚画眉草,是一种主产于埃塞俄比亚的假谷物,籽粒颜色为象牙色、黄棕色和深红棕色。^[1]研究表明苔麸富含慢消化淀粉组成的复杂碳水化合物,^[2]升糖指数低,深得糖尿病患者及减肥人士的喜爱;^[3,4]苔麸蛋白质含量与小麦等相似,但其赖氨酸含量相对较高;^[5]苔麸不含麸质,为乳糜泻及非乳糜泻麸质不耐受病患者增加了一种选择;苔麸颗粒较小,难以精加工,因此苔麸粉为全谷物食品。苔麸麸皮比例高,^[6]不仅富含膳食纤维、黄酮、多酚、植酸和B族维生素等天然生物活性物质,^[2]也是必需脂肪酸、矿物质的良好来源,是良好的功能性食品原料。

在埃塞俄比亚,苔麸种植和消费已有几个世纪。然而,受人们对其营养成分了解的限制以及在加工制作以苔麸为原料的食品时所面临的挑战的影响,苔麸在人类消费中的全球化进程受到了限制。^[2]在过去的十年里,对苔麸无麸质特性的认识激发了科学家的研究兴趣,对苔麸营养和加工品质的研究有所增加,新产品开发加快。^[5]国外基于苔麸的研究包括面包、夹心蛋糕、曲奇和饼干、意大利面、挤制材料、脂肪替代品、断奶食品、麦芽酒、乳酸饮料、淀粉基薄膜等。^[6,7]受产地和产量限制,国内对苔麸研究较少,仅贾小茜^[6]对

苔麸的总黄酮提取工艺、抗氧化性及胆酸盐吸附能力进行了测定。近年来,苔麸产地扩大和产量增加为其全球化提供了可能。为研究苔麸在我国主食中应用的可行性,本研究将苔麸粉加入面条中,部分替代小麦粉,制作苔麸面条。通过优化配方和工艺,以期获得营养健康的苔麸面条,满足消费者对营养健康食品日益增长的需求。

1 材料与方法

1.1 材料与设备

苔麸粉:美国 Bob's Red Mill Whole Grain Teff;新良中式面点粉、淮盐海藻碘食用盐:扬州永辉超市。

英衡高精度电子秤:瑞安市英衡电器有限公司;小浣熊电煮锅:中山市海马电器有限公司;JYN-YM1 九阳小型压延机:九阳股份有限公司。

1.2 苔麸面条配方与工艺

配方(以面粉总质量100%计):苔麸10%~30%,中筋小麦粉70%~90%,食盐1%~5%,水35%~50%。

工艺:原料称重→面团调制→面团松弛(25℃,25min)→面团压延和成型(0.2cm×20cm)→蒸煮→品质测定。

收稿日期:2020-09-11 *通信作者

基金项目:国家自然科学基金项目(31701634);四川省高等学校重点实验室科研项目(PRKX2017Z10)

作者简介:丁香丽,女,扬州大学旅游烹饪学院讲师,博士,从事谷物功能成分及面制品品质控制研究;

周晓燕,男,扬州大学旅游烹饪学院教授,从事烹饪标准化研究。

1.3 苔麸面条配方和工艺优化参数设计

1.3.1 苔麸面条配方和工艺优化单因素试验

1.3.1.1 苔麸粉添加量对苔麸面条品质的影响

固定小麦粉和苔麸粉总质量为 100.0 g, 苔麸粉添加量分别为 10.0%、15.0%、20.0%、25.0%、30.0%, 食盐添加量为 2.0%, 水添加量 40.0%, 压延 10 次, 研究苔麸粉添加量对苔麸面条感官品质的影响。

1.3.1.2 食盐添加量对苔麸面条品质的影响

固定小麦粉和苔麸粉总质量为 100.0 g, 苔麸粉添加量为 20.0%, 食盐添加量为 1.0%、2.0%、3.0%、4.0%、5.0%, 水添加量为 40.0%, 压延 10 次, 研究食盐添加量对苔麸面条感官品质的影响。

1.3.1.3 水添加量对苔麸面条品质的影响

固定小麦粉和苔麸粉总质量为 100.0 g, 苔麸粉添加量为 20%, 食盐添加量为 2.0%, 水添加量为 35.0%、40.0%、45.0% 和 50.0%, 压延 10 次, 研究水添加量对苔麸面条感官品质的影响。

1.3.1.4 压延次数对苔麸面条品质的影响

固定小麦粉和苔麸粉总质量为 100.0 g, 苔麸粉添加量为 20.0%, 食盐添加量为 2.0%, 水添加量为 40.0%, 压延次数分别为 5、10、15 和 20 次, 研究压延次数对苔麸面条感官品质的影响。

1.3.2 苔麸面条响应面优化设计

苔麸添加量(A)、食盐添加量(B)、水添加量(C)和压延次数(D)4 个因素为自变量, 利用 Design - Expert 8.0.6 软件 Box - Behnken Design 试验设计方法, 进行 4 因素 3 水平响应面试验。因素与水平见表 1。

表 1 苔麸面条响应面设计因素水平

水平	因素			
	A/%	B/%	C/%	D/次
-1	15.0	1.0	35.0	5.0
0	20.0	2.0	40.0	10.0
1	25.0	3.0	45.0	15.0

1.4 苔麸面条品质评价

由 10 位经感官评价专业培训的学生参照刘秀敏等^[8]方法进行。

1.5 数据分析与处理

利用软件 Microsoft Excel 2010 对数据进行统计, 结果以平均值 ± 标准差的形式表示, 采用 origin8.5 对数据进行作图。

2 结果与分析

2.1 单因素试验

2.1.1 苔麸添加量对苔麸面条感官评分的影响

由图 1 可知, 随着苔麸粉添加量的增加苔麸面条感官评分先升高后降低, 添加量为 20% 时达到峰值。在一定范围内苔麸本身的香味能增加面条的风味, 而且棕色的苔麸粉让面条看起来较美观, 能增加食欲。本实验所用苔麸蛋白质含量为 9.76%, 膳食纤维为 4.87%, 灰分 2.5% ~ 3.1%。^[9] 膳食纤维吸水率约为蛋白质吸水率的 5 倍。随添加量增大, 膳食纤维含量增大, 使得面条的弹力和筋力下降, 面条口感粗糙、黏牙, 颜色过深也影响消费者感官接受度。^[9] 灰分能导致面团流变学特性弱化,^[10] 通常与面条品质呈显著负相关。此外, 由于苔麸淀粉粒径小且硬度大,^[11] 常用于苔麸制粉的盘式磨粉机获得的苔麸粉中破碎淀粉含量约 5.11%, 远低于小麦淀粉。^[12, 13] 太低的含量将导致面制品品质的劣变。因此, 确定苔麸添加量为小麦粉的 20.0%。

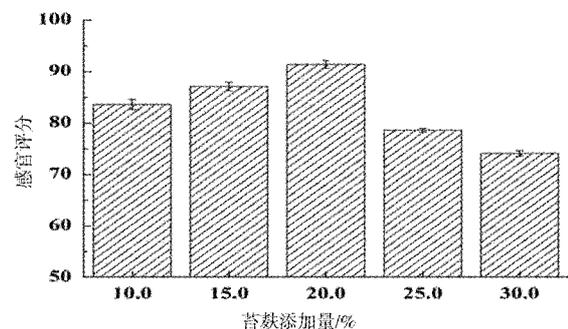


图 1 苔麸添加量对苔麸面条感官评分的影响

2.1.2 食盐添加量对面条感官评分和蒸煮品质的影响

食盐不仅赋予面条味道, 也能促进面粉中面筋蛋白水化以改善面筋网络结构, 更紧密地包裹淀粉颗粒, 从而降低蒸煮损失。^[14] 由图 2 可知, 随食盐添加量增加, 苔麸面条变得更爽滑劲道, 感官评分提高, 当添加量为 2% 时达到峰值。继续增加食盐添加量虽能增加面条弹性, 但是咸味明显, 面条的硬度较大, 适口性不强。^[15] 过量的食盐会与面筋蛋白和淀粉竞争性吸水, 抑制面筋网络形成和淀粉的糊化, 降低面团延展性及面条拉伸能力, 从而破坏面条品质。且根据现代膳食营养要求, 食盐的摄入量不宜过多。因此, 确定食盐添加

量为苔麸-小麦混合粉的2.0%。

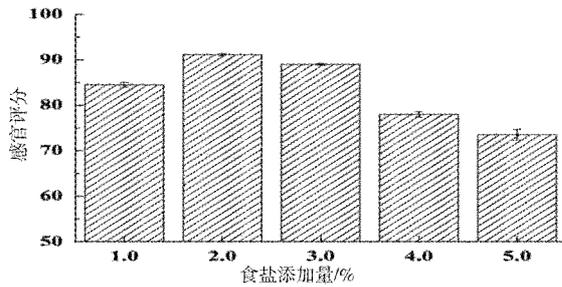


图2 食盐添加量对苔麸面条感官评分的影响

2.1.3 加水量对面条感官评分和面条蒸煮品质的影响

加水量是影响面条制作过程、蒸煮感官品质等的重要因素。由图3可知,苔麸面条感官评分随加水量增加先升高后降低。^[16]加水量过少,则面片松散,面筋蛋白不能充分水化,面筋网络不够稳固,淀粉颗粒容易从中脱离出来,增加断条率和黏度。^[17]适度的加水量能加快淀粉充分吸水糊化,形成较完善的面筋网络结构,缩短蒸煮时间且降低蒸煮损失,面条硬度降低,适口性强。^[18]加水量过多,则面团过软,面片不易成型,面条粘连,出现黏牙、不爽滑。当加水量大于40%时,面条的感官评分显著降低($P < 0.05$)。这可能是由于苔麸淀粉颗粒非常小,直径约2~6 μm,与大米淀粉颗粒类似。^[1]直链淀粉含量约25%~32%,糊化温度在68~80℃,与高粱等热带谷物淀粉糊化温度相似,淀粉结晶度高于小麦淀粉,糊化后黏度明显低于玉米淀粉,但是淀粉糊冷却后具有较高的稳定性。苔麸淀粉的结构和组成在某种程度上影响了面团调制过程中淀粉的溶胀以及煮制过程中淀粉的糊化,进而影响面条品质。因此,确定水的添加量为40.0%。

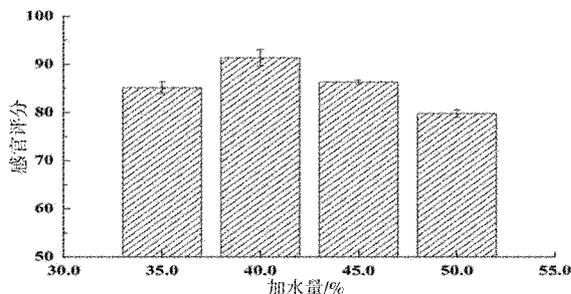


图3 加水量对苔麸面条感官评分的影响

2.1.4 压延次数对面条感官品质的影响

在面条生产过程中,机械处理如压延等受力的影响会改变面团的流变学特性,从而影响面制

品的最终品质。^[19]压延过程能使面团中的面筋网络由无序变得细密有序,进而影响面条的蒸煮品质。在一定范围内,面团延压次数越多,面条越爽滑劲道,但压延次数过多将降低面条硬度,影响口感。如图4所示,苔麸面条感官评分随着压延次数的增加先升高后降低。这是因为虽然压延次数越多面条越劲道爽滑,过度的延压处理会使得面条硬度降低、咀嚼度降低、适口性差。所以当压延次数超过10次后,感官评分会随着压延次数的增多而降低,因此确定压延次数为10次。

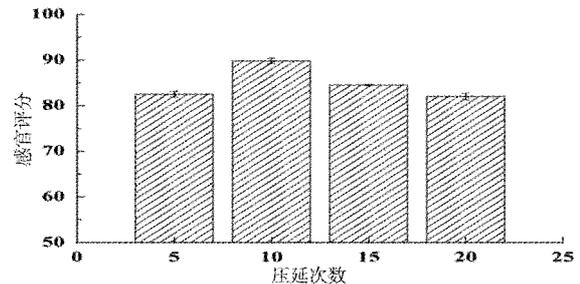


图4 压延次数对苔麸面条感官评分的影响

2.2 响应面试验

2.2.1 响应面设计与结果

根据表1进行二次旋转多元回归试验,研究各因素与苔麸面条感官评分之间的关系。结果见表2。

2.2.2 模型建立、显著性检验与方差分析

以感官评分为响应值,利用Design-Expert8.0.6软件对数据进行处理,得到一个多元二次回归方程:

$$Y = 90.68 - 1.10A - 2.08B - 0.47C - 0.017D + 1.70AB + 3.40AC - 1.35AD + 0.57BC + 0.78BD - 0.38CD - 3.22A^2 - 5.94B^2 - 2.59C^2 - 1.74D^2$$

由表3可知,模型 $P < 0.0001$,说明所建立的模型显著性极高,失拟项 $F = 4.46, P > 0.05$,差异性不显著, $R^2 = 0.91, R^2_{Adj} = 0.82$,表明该模型对试验拟合情况良好,可信度高,可以利用这个回归方程以预测响应值。

2.2.3 各因素交互分析

由表3可知,一次项中A显著,B极显著,C和D不显著,交互项中AC极显著,AB、AD、BC、BD、CD不显著,二次项中 $A^2、B^2、C^2$ 为极显著, D^2 显著。通过F值的大小可以得出各因素对响应值的影响由大到小排列为:食盐添加量(B) > 苔麸添加量(A) > 水添加量(C) > 压延次数(D)。

在试验范围内食盐添加量与水添加量、食盐添加量和压延次数的交互作用对响应值影响不显著。

表2 苔麸面条响应面设计试验结果

试验号	因素				感官评分
	A/%	B/%	C/%	D/次	
1	25.0	2.0	45.0	10	87.60
2	20.0	2.0	40.0	10	91.80
3	20.0	2.0	35.0	5	89.00
4	20.0	3.0	40.0	15	81.90
5	15.0	2.0	45.0	10	82.30
6	25.0	2.0	40.0	5	84.30
7	25.0	3.0	40.0	10	81.20
8	20.0	2.0	45.0	5	85.20
9	20.0	2.0	40.0	10	89.50
10	15.0	3.0	40.0	10	78.50
11	20.0	1.0	40.0	15	85.50
12	20.0	3.0	35.0	10	78.20
13	15.0	2.0	40.0	15	89.10
14	20.0	2.0	40.0	10	91.20
15	20.0	2.0	40.0	10	90.80
16	25.0	2.0	35.0	10	81.20
17	20.0	1.0	35.0	10	83.20
18	15.0	2.0	35.0	10	89.00
19	20.0	3.0	40.0	5	79.50
20	20.0	1.0	45.0	10	84.20
21	20.0	2.0	40.0	10	90.10
22	20.0	3.0	45.0	10	81.50
23	15.0	2.0	40.0	5	86.00
24	20.0	1.0	40.0	5	86.20
25	25.0	1.0	40.0	10	81.30
26	15.0	1.0	40.0	10	85.40
27	20.0	2.0	45.0	15	83.10
28	25.0	2.0	40.0	15	82.00
29	20.0	2.0	35.0	15	88.40

2.2.4 最佳配方验证

通过 Design - Expert 8.0.6 对参数和建立的模型进行分析,可得出苔麸面条制作工艺最优参数为:苔麸添加量 17.31%、食盐添加量 1.74%、水添加量 37.57%、压延次数 11 次,感官评分为 91.36。用所得出的最优工艺优化参数制作苔麸面条,并对其验证试验,结果见表 4。

表3 回归方程显著性检验与方差分析

方差来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值	显著性
模型	406.33	14	29.02	10.23	<0.000 1	**
A	14.52	1	14.52	5.12	0.040 1	*
B	52.08	1	52.08	18.36	0.000 8	**
C	2.61	1	2.61	0.92	0.353 4	
D	0.00	1	0.00	0.00	0.973 1	
AB	11.56	1	11.56	4.08	0.063 1	
AC	46.24	1	46.24	16.31	0.001 2	**
AD	7.29	1	7.29	2.57	0.131 2	
BC	1.32	1	1.32	0.47	0.505 8	
BD	2.40	1	2.40	0.85	0.373 0	
CD	0.56	1	0.56	0.20	0.662 9	
A ²	67.22	1	67.22	23.70	0.000 2	**
B ²	229.19	1	229.19	80.81	<0.000 1	**
C ²	43.65	1	43.65	15.39	0.001 5	**
D ²	19.73	1	19.73	6.96	0.019 5	*
残差	39.71	14	2.84			
失拟项	36.44	10	3.64	4.46	0.081 3	
净误差	3.27	4	0.82			
总变异	446.04	28				
R ²	0.91					
R _{Adj} ²	0.82					

注: * 表示显著,即 $P < 0.05$; ** 表示极显著,即 $P < 0.01$ 。

表4 苔麸面条感官品质分析

样品	对照	苔麸面条
感官评分	89.93 ± 0.38 ^a	91.36 ± 0.06 ^b

由表 4 可见,当在最优条件下制作苔麸面条时,得到的感官评分为 91.36 ± 0.06,与预测结果基本一致,说明该回归模型准确。

3 结论

本试验以苔麸为原料制作苔麸面条,研究了苔麸添加量、食盐添加量、加水量和压延次数对苔麸面条感官评分的影响。得到最优配方与工艺参数为:苔麸添加量 17.31%、食盐添加量 1.74%、水添加量 37.57%、压延次数 11 次。在该条件下制得的面条感官评分为 91.36 ± 0.06,获得的苔麸面条具有较好的感官品质,能够满足消费者对感官品质的需求。

参考文献:

- [1] GEBREMARIAM M, ZARNKOW M, BECKER T. Teff (*Eragrostis tef*) as a raw material for malting, brewing and manufacturing of gluten-free foods and beverages: a review [J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2014, 51(11):2881-2895.
- [2] BAYE K. Teff: nutrient composition and health benefits [M]. *International Food Policy Development Research*, 2014:67.
- [3] ADEBOWALE A, EMMAMBUX M, BEUKES M, et al. Fractionation and characterization of teff proteins [J]. *Journal of Cereal Science*, 2011, 54(3):380-386.
- [4] MENGESHA M. Chemical composition of teff (*Eragrostis tef*) compared with that of wheat, barley and grain sorghum [J]. *Economic Botany*, 1966, 20(3):268-273.
- [5] ZHU F. Chemical composition and food uses of teff (*Eragrostis tef*) [J]. *Food Chemistry*, 2018, 239:402-415.
- [6] 贾小茜. 苔麸生物活性物质提取及功能研究[D]. 石家庄:河北科技大学, 2019.
- [7] 贾小茜, 杜进民. 苔麸总黄酮提取工艺及体外抗氧化活性研究[J]. *食品研究与开发*, 2019, 40(11):141-148.
- [8] 刘秀敏, 武海星, 张建芳, 等. DHA营养强化面条工艺研究[J]. *美食研究*, 2020, 37(2):64-69.
- [9] 侯国泉, MARK K, JIM P, 等. 面粉特性与中华方便品质间关系的研究[J]. *中国粮油学报*, 1997(3):9-15.
- [10] 尹寿伟. 面条品质的影响因素及评价方法研究[D]. 郑州:河南工业大学, 2005.
- [11] ASSEFA Y, EMIRE S, VILLANUEVA M, et al. Influence of milling type on teff injera quality [J]. *Food Chemistry*, 2018, 266:155-160.
- [12] 李卓瓦. 商业面粉质量与面条品质的关系研究[D]. 郑州:河南工业大学, 2006.
- [13] 李东森, 郑学玲, 曹维让, 等. 小麦各系统面粉面筋及破损淀粉含量与面团吸水率的关系 [J]. *现代面粉工业*, 2011, 25(3):36-40.
- [14] 王冠岳, 陈洁, 王春, 等. 氯化钠对面条品质影响的研究[J]. *中国粮油学报*, 2008, 23(6):184-187.
- [15] 张梦迪, 陆启玉. 不同盐的添加对面条品质影响的研究进展[J]. *中国调味品*, 2020, 45(3):176-179.
- [16] 胡云峰, 王奎超, 陈媛媛. 不同加水量对生鲜面条品质的影响[J]. *食品研究与开发*, 2017, 38(24):88-92.
- [17] 冯明会, 孟甜, 黄开正, 等. 小米全粉对面团特性及馒头品质影响研究[J]. *美食研究*, 2019, 36(2):38-42.
- [18] 贺莹. 杏鲍菇南瓜保健馒头制作工艺的优化[J]. *美食研究*, 2020, 37(3):42-47.
- [19] 陶春生, 王克俭, 陈存社. 压延的压力对小麦面条品质的影响[J]. *食品科学技术学报*, 2016, 34(5):84-88.

Optimizing on the formula and cooking technology of teff noodles by response surface methodology

DING Xiangli, CHEN Dongling, ZHANG Lili, ZHOU Xiaoyan

(School of Tourism and Culinary Science, Yangzhou University, Yangzhou, Jiangsu 225127, China)

Abstract: Teff noodles was made by partially replacing wheat flour with teff. Taking sensory score as response value, the formula and cooking technology of teff noodles were optimized through single-factor experiment combined with Box-Behnken Design using response surface method, and the influence of teff addition on noodle quality was studied. Results showed that, when the formula was composed of 17.31% teff, 1.74% salt, 37.57% water, and rolling for 11 times, teff noodles obtained showed the optimal sensory quality meeting the consumers demands.

Key words: teff; noodles; response surface methodology; formula; cooking technology

(责任编辑:赵勇)