

DOI: 10.13652/j.issn.1003-5788.2019.01.033

燕麦添加量对马铃薯复合面条品质特性的影响

Effect of adding oat flour on quality characteristics of potato compound noodles

屈展平¹ 任广跃^{1,2} 李叶贝¹

QU Zhan-ping¹ REN Guang-yue^{1,2} LI Ye-bei¹

段 续^{1,2} 张乐道^{1,2} 陈 曦^{1,2}

DUAN Xu^{1,2} ZHANG Le-dao^{1,2} CHEN Xi^{1,2}

(1. 河南科技大学食品与生物工程学院, 河南 洛阳 471000;

2. 食品加工与安全国家实验教学示范中心, 河南 洛阳 471000)

(1. College of Food and Bioengineering, Henan University of Science and Technology, Luoyang, Henan 471000, China; 2. National Experimental Teaching Demonstration Center of Food Processing and Security, Luoyang, Henan 471000, China)

摘要:以马铃薯和小麦粉为主要原料,采用质构仪、扫描电镜等技术手段,辅以主成分分析和模糊数学等统计方法,研究燕麦粉添加量对马铃薯复合面条的质构特性、微观结构、干燥特性及感官特性的影响。结果表明:随燕麦粉含量的增加,马铃薯复合面条质构主成分咀嚼性因子、黏弹性因子和硬度因子均呈先减小后增大的趋势;其结构致密程度、孔隙率及有效水分扩散系数也呈先减后增的趋势,复合面条干燥特性变差。当燕麦粉含量为 10% 时,其咀嚼性、黏弹性和硬度最大,结构致密,有效水分扩散系数较大,复合面条感官评定(色泽、外观、口感、食味)达到最佳。

关键词:马铃薯;燕麦;复合面条;干燥特性;品质

Abstract: In order to study the effect of the amount of oats on the quality of potato composite noodles, potato and wheat flour were used as main raw materials. Using texture analyzers, scanning electron microscopy and other technical means, supplemented by statistical methods such as principal component analysis and fuzzy mathematics, comprehensive examination of texture characteristics, microstructure, drying characteristics and sensory characteristics of composite noodles. The results showed that with the

increase of the content of oat flour, the masticatory factor, viscoelastic factor and hardness factor of the main texture components decreased first and then increased. The structure density, porosity and effective moisture diffusion coefficient also showed a tendency of decreasing first and then increasing, and the drying characteristics of composite noodles became worse. When the content of oat flour was 10, it had the highest chewability, viscoelasticity and hardness, compact structure and large effective water diffusion coefficient, and the sensory evaluation (color, appearance, mouthfeel and palatability) of the composite noodle was the best.

Keywords: potato; oat; composite noodles; drying characteristics; quality

马铃薯是茄科茄属一年生草本植物,又名土豆、洋芋等。马铃薯中富含的必需氨基酸可以弥补谷物中某些氨基酸的缺失,而且其中含有大量的膳食纤维,同时,马铃薯也是各种维生素和矿物质的广泛来源,它不仅含有丰富的营养价值,还具有一定的医疗保健作用^[1]。自 2015 年起,中国已启动马铃薯主粮化战略,马铃薯主粮化是指对鲜马铃薯进行加工,使之成为人们生活中经常消费的主食产品,使马铃薯逐渐由副食转变为主食,由原料产品转变为加工产品,由温饱产品转变为营养产品^[2-3]。

燕麦是一种营养价值很高的谷物,种植面积居世界第 4 位。燕麦具有高蛋白、高脂肪的特点,其脂肪主要由不饱和脂肪酸和亚油酸组成,燕麦中还含有较丰富的 B 族维生素和钙、磷、铁等矿物质以及可溶性膳食纤维等降

基金项目:国家自然科学基金面上项目(编号:31671907);河南省高校科技御新团队支持计划项目(编号:16IRTSTHN009);河南省自然科学基金(编号:182300410062)

作者简介:屈展平,女,河南科技大学在读硕士研究生。

通信作者:任广跃(1971-),男,河南科技大学教授,博士。

E-mail: guangyueyao@163.com

收稿日期:2018-09-06

低胆固醇的物质^[4]。

针对不同类型的复合面条均已有多项研究, Ma 等^[5]研究了荞麦复合面条, 结果表明荞麦面条的感官、多酚含量及抗氧化特性均高于普通面条; 李叶贝等^[6]发现马铃薯粒度与小麦粉接近时面条品质较好; Choy 等^[7]研究了马铃薯复合面条, 发现乙酰化马铃薯淀粉能够提高小麦粉的性能; 李升等^[8]研究了紫薯复合挂面, 发现谷朊粉、魔芋胶能够有效提高挂面的品质。目前对面条品质的研究主要集中在蒸煮特性及质构特性等方面, Zhang 等^[9]研究了添加甘薯粉(SPF)对小麦粉面条的影响, 发现 SPF 的添加降低了煮熟面条的弹性、凝聚性和回弹性, 但对硬度和黏附性有不同的影响; 张东仙等^[10]研究了燕麦麸皮对挂面品质的影响, 燕麦麸皮的添加增大了挂面的蒸煮损失、吸水率和混汤吸光值, 同时也显著增大了挂面的硬度和咀嚼性, 而挂面的黏性和弹性呈下降趋势; 田志芳等^[11]研究了活性小麦面筋对燕麦全粉面条品质的影响, 添加活性小麦面筋可以有效地降低燕麦面条的蒸煮损失, 增加面条的拉伸强度和紧实度, 降低其黏附性和表面脆性; 王乐等^[12]研究了马铃薯面条制作工艺及品质, 发现与全小麦面条相比, 马铃薯面条虽然蒸煮时间较短, 但面条的咀嚼性、黏弹性、光滑性及外观品质均有所降低。然而, 复合面条微观结构表征和干燥特性的研究较少, 且以马铃薯和燕麦为原料制备复合面条鲜有报道。在马铃薯复合面条中添加燕麦可以在一定程度上增加面条的营养价值和保健功能, 但燕麦添加量过大会导致面条松散、成型困难, 而燕麦添加量过小则会导致其营养性能提升不明显。

本试验在研究马铃薯燕麦复合面条成型的基础上, 拟通过对复合面条的蒸煮特性、质构特性、微观结构、干燥特性以及感官特性的表征, 确定复合面条的最佳配比, 为实际生产提供一定的理论依据和技术支撑。

1 材料与方 法

1.1 材料与仪器

1.1.1 材料与试剂

马铃薯、小麦粉、食盐、谷朊粉、燕麦粉: 市售;
柠檬酸: 分析纯, 天津市德恩化学试剂有限公司;
抗坏血酸: 分析纯, 江苏强盛功能化学股份有限公司。

1.1.2 主要仪器设备

日立台式电镜: TM3030 型, 日本电子株式会社;
质构仪: TA.XT 型, 英国 Stable Micro Systems 公司;
热泵干燥机: GHRH-20 型, 广东省农业机械研究所;
压面条机: FKM-20 型, 永康市炫林工贸有限公司;
电磁炉: jyc-21es55c 型, 山东九阳小家电有限公司;
电子分析天平: FA1004 型, 上海上平仪器公司;

高速多功能粉碎机: HC.200 型, 浙江省永康市金穗机械制造厂。

1.2 方 法

1.2.1 面条配方试验设计 通过预试验对复合面条的营养成分、蒸煮特性及质构特性进行考察, 结果显示在燕麦添加量为 10%~20% 时表现出较好特性, 故选取燕麦含量 10%~20% 设置不同因素水平进行试验。

1.2.2 面条生产工艺流程

马铃薯粉、燕麦粉、小麦粉、纯净水、食盐、谷朊粉→和面→熟化→压延→切条→干燥

1.2.3 面条生产工艺要点

(1) 马铃薯熟粉的制备: 选取外观良好, 无虫眼, 未发芽, 未腐烂的马铃薯, 将马铃薯洗净并去皮切片, 将马铃薯片直接转移到护色液中浸泡 10 min, 护色液的浓度(质量分数)为 0.5% 柠檬酸和 0.05% 抗坏血酸, 护色好的马铃薯片直接转移到护色液中浸泡 10 min, 护色液的浓度(质量分数)为 0.5% 柠檬酸和 0.05% 抗坏血酸, 护色好的马铃薯片蒸煮 3 min 使之熟化, 将熟化的马铃薯捞出沥干置于 50℃ 的热泵干燥机中进行干燥, 待其干燥至含水率为 5%, 粉碎过 100 目筛备用。

(2) 和面: 用电子天平称取混合粉 200 g, 其中马铃薯粉 100 g, 燕麦粉含量分别占混合粉的 10%, 12%, 14%, 16%, 18%, 谷朊粉 10 g, 其他为小麦粉。将 2 g 食盐溶解在 130 mL 蒸馏水中, 溶解完全后将盐水加入混合粉中, 搅拌成面絮, 和面 5 min, 保持面絮干湿得当, 用手紧握时可以成团, 松开手后面絮自动散落。

(3) 熟化: 将和好的面团放在容器中, 容器口用保鲜膜密封, 室温放置 20 min, 使面筋蛋白充分吸水形成面筋网络。

(4) 压片: 熟化结束后用压面机进行压延, 并根据面带的情况逐渐调整压辊的宽度, 反复压片, 直到面带表面光滑, 色泽均匀, 富有弹性为止。然后安装压面机的切刀进行出面, 所得鲜湿面条长 20 cm, 宽 0.3 cm, 厚 0.1 cm, 初始干基含水率为 61.8%。

(5) 干燥: 将上述鲜湿面条放入热泵干燥机进行干燥处理, 使其含水率降至 13%, 备用。

1.3 指标的测定

1.3.1 质构特性测定 质构特性分别在压缩模式下进行 TPA(质地剖面分析, texture profile analysis) 试验和剪切模式下进行剪切试验来测定, 质构仪的探头为: P/75 和 A/LKB-F, TPA 测试参数: 测前速率 1.0 mm/s, 测中速率 0.8 mm/s, 测后速率 5.0 mm/s, 压缩程度 70%, 停留时间 5 s, 触发力 5 g。每组进行 6 次试验取平均值, 得到延展性、硬度、咀嚼性及黏性等数值。剪切试验测试参数: 测前速率 1.0 mm/s, 测中速率 0.8 mm/s, 测后速率 10.0 mm/s, 应变程度 100%, 触发力 5 g, 每组进行 6 次试验取平均值^[13-14]。取面条 30 根, 放入 1 000 mL 沸水中煮至最佳蒸煮时间, 捞出后淋水 1 min, 立即用质构仪测

定,每次试验将 5 根长 10 cm 的面条平行放在平台上进行测定。

1.3.2 微观结构的测定 将不同燕麦含量的复合面条放入电镜中观察,放大倍数为 1 000 倍,观察面条的微观结构及孔隙率。

1.3.3 干燥特性的测定

(1) 干基含水率的计算:

$$X = \frac{M_t - M_1 \times (1 - \omega_1)}{M_1 \times (1 - \omega_1)} \times 100\%, \quad (1)$$

式中:

X ——干基含水率, %;

M_t 、 M_1 ——任意干燥 t 时刻物料的质量和湿物料的初始质量, g;

ω_1 ——初始湿基含水率, %。

(2) 干燥曲线的绘制:设置 30, 40, 50 °C 3 个温度段,对不同燕麦粉含量的鲜湿复合面条进行分段热泵干燥处理,使其含水率降至干基含水率为 13% 绘制相应的干燥曲线。

(3) 有效水分扩散系数的测定:假设面条模型为长方体,水分扩散可沿着长、宽、高 3 个方向进行扩散,由 Neuman 公式可得:

$$MR = \frac{X_t - X_e}{X_0 - X_e} = \left(\frac{X_t - X_e}{X_0 - X_e}\right)_x \left(\frac{X_t - X_e}{X_0 - X_e}\right)_y \left(\frac{X_t - X_e}{X_0 - X_e}\right)_z, \quad (2)$$

式中:

MR ——水分比;

X_t ——任意干燥 t 时刻物料的干基含水率, %;

X_0 ——初始时刻物料的干基含水率, %;

X_e ——物料的临界含水率, %。

面条干燥过程中每个方向上的扩散均可看作一维轴向扩散,根据 Fick 第二定律可以按式(5)计算 MR 。

$$MR = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp\left[-\frac{(2n+1)^2 \pi^2 D t}{4L^2}\right], \quad (3)$$

式中:

MR ——水分比;

D ——有效水分扩散系数, m^2/s ;

t ——干燥时间, s。

在干燥过程中,水分散失,面条体积略有减少,并且水分扩散具有各向异性,故参考曾令彬等^[15-16]方法并进行修改提出以下假设:① 面条的组织结构较为均匀,视其各方向的水分扩散系数相等,即 $D_x = D_y = D_z = D$; ② 在干燥过程中视面条体积不变,即 L 一定; ③ 因面条的长度远大于面条的宽度和高度,故视为主要从宽和高两个方向扩散。当 $n=0$ 时,联立式(2)、(3)得:

$$MR = \frac{X_t - X_e}{X_0 - X_e} \approx \left(\frac{8}{\pi^2}\right)^2 \exp\left[-\frac{\pi^2 D t}{4} \left(\frac{1}{L_y^2} + \frac{1}{L_z^2}\right)\right], \quad (4)$$

式中:

D ——有效水分扩散系数, m^2/s ;

L_y 、 L_z ——分别为面条宽度和高度的 $1/2$, m;

t ——干燥时间, s。

将式(4)两端取自然对数得:

$$\ln MR = \ln\left(\frac{8}{\pi^2}\right)^2 - \frac{\pi^2 D}{4(L_y^2 + L_z^2)} t. \quad (5)$$

由式(5)可知, $\ln MR$ 和时间 t 呈线性关系,由 Origin 进行线性拟合,根据其系数求出水分扩散系数 D 。

1.3.4 感官特性的测定 本研究采用模糊数学法进行感官评价与分析,可以比较全面地反映每个评委的意见,归一化后的综合评判结果集能全面客观地反映产品感官评价结果^[17-18]。将样品随机呈现给 10 名有感官评价知识背景的评委,对面条的色泽、外观、口感、食味 4 个因素进行感官评定,并分设 4 个等级见表 1。

2 结果与分析

2.1 燕麦粉添加量对复合面条质构特性的影响

2.1.1 复合面条质构特性 通过质构仪进行 TPA 测试及剪切测试,得到的质构指标包括硬度、胶黏性、弹性、凝聚力、胶着性、咀嚼性、回弹性、伸展性、剪切硬度、剪切咀嚼性、剪切胶粘性 11 个指标。质构测定结果见表 2、3。

表 1 马铃薯燕麦复合面条感官评定指标

Table 1 Sensory evaluation index of potato and oat compound noodles

等级	色泽	外观	口感	食味
好	面条颜色正常,光亮	表面结构细密,光滑	有嚼劲,富有弹性,爽口,不粘牙,口感光滑	有马铃薯、燕麦香味
较好	面条颜色稍差,光亮	表面结构细密与光滑度稍差	嚼劲较差,有弹性,爽口,不粘牙,口感稍差	香味稍差
一般	面条颜色稍差,亮度一般	表面结构细密与光滑度一般	嚼劲与弹性稍差,较爽口,稍粘牙,口感一般	无异味
差	面条颜色发暗,亮度差	表面粗糙,变形严重	嚼劲差,弹性不足,不爽口,发粘,口感粗糙	有异味

表 2 复合面条 TPA 特性测定结果

Table 2 Determination results of composite noodle TPA characteristics

燕麦含量/%	硬度/g	胶黏性/(g·s)	弹性	凝聚力	胶着性	咀嚼性	弹性
10	6 566.03±0.61	-152.62±0.10	0.85±0.01	0.82±0.01	5 374.39±0.26	4 592.83±0.91	0.62±0.03
12	5 102.87±1.31	-140.42±0.23	0.82±0.05	0.82±0.02	4 159.01±0.31	3 406.50±0.90	0.61±0.03
14	5 619.04±0.89	-160.39±0.16	0.83±0.02	0.78±0.01	4 406.34±0.10	3 661.92±1.49	0.60±0.03
16	5 858.87±0.75	-393.69±0.41	0.90±0.02	0.83±0.01	4 835.72±0.09	4 332.32±1.52	0.64±0.08
18	5 948.68±1.54	-211.21±0.11	0.88±0.02	0.80±0.04	4 744.40±0.30	4 185.25±1.40	0.64±0.04

表 3 复合面条剪切特性测定结果

Table 3 Determination results of composite noodle shear characteristics

燕麦含量/%	伸展性/(g·s ⁻¹)	剪切硬度/g	剪切咀嚼性/(g·s)	剪切胶黏性/(g·s)
10	204.95±1.12	436.82±0.34	440.19±0.71	-2.25±0.04
12	122.88±0.92	292.68±0.28	384.11±0.75	-2.12±0.03
14	129.37±0.86	279.47±0.17	379.36±0.68	-1.64±0.03
16	172.88±0.98	410.39±0.25	499.67±0.54	-1.49±0.01
18	110.09±1.06	281.42±0.29	364.19±0.72	-1.27±0.02

2.1.2 质构特性的主成分分析 由于质构特性评价指标较多且存在一定的关联性,难以对面条品质进行准确分析,所以采用主成分分析法,减少指标得到综合评分^[19]。使用 SPSS 20.0 对面条的质构特征指标进行降维分析,得到相关成分的特征值及贡献率见表 4。

表 4 相关成分的特征值及贡献率

Table 4 The eigenvalues and contribution rates of related components

成分	特征值	贡献率/%	累计贡献率/%
Z ₁	6.196	56.330	56.330
Z ₂	2.726	24.783	81.114
Z ₃	1.537	13.973	95.087
Z ₄	0.540	4.913	100.000

由表 4 可知,Z₁、Z₂、Z₃ 3 个主成分的贡献率分别为 56.330%、24.783%、13.973%, 3 个主成分的累积贡献率为 95.087%,且前 3 个特征值超过 1,可见 Z₁、Z₂、Z₃ 3 个主成分包含了大多数信息,能代表面条质构特性的整体信息,选择这 3 个主成分进行分析。

主成分特征向量表可以反映出各指标对主成分贡献率的大小,由表 5 可知,第 1 主成分主要以胶着性(X₅)、

咀嚼性(X₆)、剪切硬度(X₉)的影响为主,第 2 主成分以胶黏性(X₂)、弹性(X₃)、回弹性(X₇)、剪切胶黏性(X₁₁)的影响为主,第 3 主成分以硬度(X₁)、凝聚力(X₄)、剪切咀嚼性(X₁₀)的影响为主。根据其主成分贡献率可构建 3 个主成分与面条各质构指标间的线性关系。

$$Z_1 = 0.766X_1 - 0.631X_2 + 0.747X_3 + 0.640X_4 + 0.861X_5 + 0.925X_6 + 0.678X_7 + 0.809X_8 + 0.911X_9 + 0.838X_{10} + 0.014X_{11} \quad (6)$$

$$Z_2 = 0.2542X_1 + 0.635X_2 - 0.662X_3 + 0.115X_4 + 0.279X_5 + 0.030X_6 - 0.627X_7 + 0.552X_8 + 0.370X_9 + 0.017X_{10} - 0.945X_{11} \quad (7)$$

$$Z_3 = -0.591X_1 + 0.366X_2 + 0.059X_3 - 0.639X_4 + 0.422X_5 + 0.373X_6 + 0.046X_7 - 0.076X_8 - 0.165X_9 - 0.463X_{10} + 0.274 X_{11} \quad (8)$$

以不同特征值的方差贡献率 β_i (i=1,2,3,……,k) 为系数,利用综合评价函数 Z=β₁Z₁+β₂Z₂+β₃Z₃+……+β_kZ_k 建立模型^[20]。根据不同特征值的方差贡献率得出复合面条质构特性的评价模型为:Z=0.563 3Z₁+0.247 8Z₂+0.139 7Z₃,将主成分得分消除量纲代入模型,得到不同配比复合面条质构特性综合评价结果见表 6。

表 5 主成分特征向量表

Table 5 Principal component eigenvectors table

指标变量	硬度	胶黏性	弹性	凝聚力	胶着性	咀嚼性	回弹性	伸展性	剪切硬度	剪切咀嚼性	剪切胶黏性
Z ₁	0.766	-0.631	0.747	0.640	0.861	0.925	0.678	0.809	0.911	0.838	0.014
Z ₂	0.254	0.635	-0.662	0.115	0.279	0.030	-0.627	0.552	0.370	0.017	-0.945
Z ₃	0.591	0.366	0.059	-0.639	0.422	0.373	0.046	-0.076	-0.165	-0.463	0.274

表 6 复合面条综合评价表

Table 6 Comprehensive evaluation of composite noodles

燕麦含量/%	Z ₁	Z ₂	Z ₃	Z
10	14 934.12	3 489.52	7 514.87	95.09
12	11 417.44	2 651.70	5 754.88	8.56
14	12 263.75	2 844.77	6 256.38	29.37
16	13 839.88	2 971.59	2 971.59	48.26
18	13 297.01	2 995.59	6 778.94	51.99

通过对复合面条不同质构特征的主成分分析,分别得到 3 个主成分为面条的咀嚼性因子、黏弹性因子、硬度因子,通过构建综合评价模型,得到其综合评分。可见随着燕麦粉添加量的增大,其咀嚼性、黏弹性和硬度基本呈先下降再上升的趋势,因为燕麦中的谷蛋白分子吸水后黏弹性较差,同时结构松散,硬度变小,咀嚼性变差。当燕麦含量变大时面条淀粉容易溶出,黏弹性增大,同时,膳食纤维的增加会使其咀嚼性有所增强,与 Niu 等^[21-22]分析结果相似。由综合评分可知,当燕麦含量为 10% 时表现出较好的质构特性。

2.2 燕麦粉添加量对复合面条结构特性的影响

将不同配比的马铃薯燕麦复合进行扫描电子显微镜测定,测定结果见图 1。由图 1(a)可见,燕麦含量 10% 时面条结构较为致密但仍有小的孔隙,面筋网络形成较为紧实,淀粉颗粒较大且散落较为均匀,在此条件下面条结构均匀,孔隙率较小。图 1(b)为燕麦含量为 12% 时,淀粉颗粒被面筋网络包裹的较为充分,但有较多大小不一的孔隙,可见燕麦粉遇水易形成小颗粒而无法混匀,使面条出现不平整的小块。由图 1(c)可见,燕麦含量为 14% 时面条结构较均匀,淀粉颗粒被均匀地包裹,散落的大分子淀粉较少,孔隙率较小且孔隙直径较小,内部密度较大。从图 1(d)中可见,燕麦含量为 16% 时面条内部结构松散,大颗粒淀粉集中,没有与面筋网络充分融合,且有较大孔隙,在此条件下面条内部密度较小容易产生酥面。

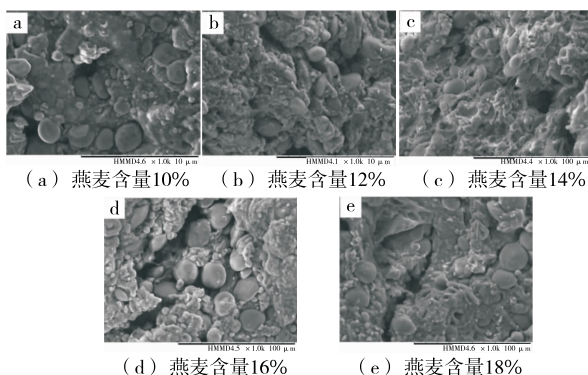


图 1 不同燕麦含量复合面条的扫描电镜图

Figure 1 SEM of composite noodles with different oats content

图 1(e)为燕麦含量为 18% 时,面条内部结构较松散且有缝隙,但相比于图 1(d)稍好,有个别散落的较大的淀粉颗粒,小麦粉含量较少,面筋网络形成较差,此条件下的面条在蒸煮过程中容易出现断条,与刘颖等^[23-24]的研究结果相似。通过对扫描电镜图的分析可知,当燕麦含量为 10% 和 14% 时孔隙率较小,结构均匀,当燕麦含量为 16% 和 18% 时,面条孔隙率较大,结构松散,品质较差。

2.3 燕麦粉添加量对复合面条干燥特性的影响

2.3.1 不同燕麦含量复合面条的干燥曲线 将不同燕麦含量的复合面条进行热泵干燥,为了缩短干燥时间,降低能量消耗,采用分段干燥法。将燕麦含量分别为 10%, 12%, 14%, 16%, 18% 的复合面条在同一干燥条件下进行热泵干燥。所得干燥曲线见图 2。

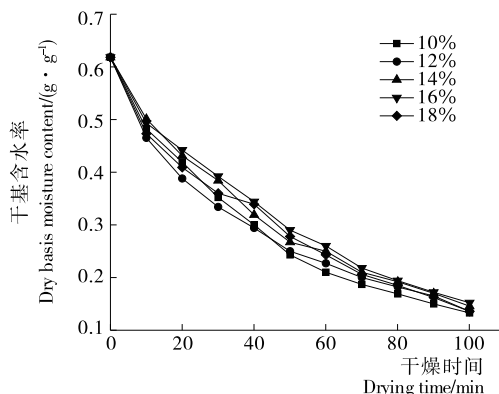


图 2 不同燕麦含量复合面条的干燥曲线

Figure 2 Drying curve of composite noodles with different oat content

由图 2 可知,在干燥时间为 100 min 时,不同燕麦含量的复合面条干基含水率分别为: 13.27%, 13.59%, 14.56%, 15.21%, 13.59%, 燕麦含量为 10% 时干燥较快,而燕麦含量为 16% 时干燥较慢,这是因为燕麦含量低时面筋网络形成较充分,淀粉颗粒排布有序,有利于水分的扩散。干燥初期,不同含量的面条干燥速率基本一致,主要是表面水分蒸发阶段,在干燥初期采用低温干燥,干燥温度为 30 °C,因为温度过高会导致表面水分蒸发过快与内部形成较大水分差,造成表面过硬或形成酥面,同时阻碍内部水分扩散,低温干燥可以使面条表面水分蒸发的同时保持面条的品质及外观。当含水率降到 35% 左右时进入第二干燥阶段,干燥温度为 40 °C,在此阶段,燕麦含量越少的复合面条干燥速率大,因为其内部面筋网络较完整地包裹淀粉颗粒,有序的排布使内部水分扩散较快,在此干燥阶段水分扩散温度的升高使传热推动力即温度差增大,导致热流密度增加,热空气与样品的热交换比较剧烈,同时温度的升高会导致空气的相对湿度降低,传质推动力即湿度差就会增大,样品中的自由水与热空气具有较大的水分梯度,伴随着表面水分快速蒸发的同时样

品内部的水分会向表面迁移,所以含水率下降较快,与刘云宏等^[25-27]的研究结果一致。在干燥后期,不同样品的含水率逐渐减少,随着自由水的减少,水分梯度也越来越小,但是样品中的结合水主要依靠氢键与蛋白质的极性基团相结合而形成,所以结合水很难从细胞中渗出,故后期干燥将温度升高到 50 ℃ 可以缩短干燥时间,降低干燥能耗。

2.3.2 不同燕麦含量复合面条的有效水分扩散系数 不同燕麦含量复合面条干燥过程中的有效水分扩散系数见图 3,当燕麦含量为 10%,12%,14%,16%,18%时,有效水分扩散系数分别为 5.52×10^{-10} , 4.63×10^{-10} , 3.73×10^{-10} , 3.46×10^{-10} , $4.54 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$,有效水分扩散系数在 $3.46 \times 10^{-10} \sim 5.52 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ 时,均在食品干燥有效水分扩散系数 $10^{-10} \sim 10^{-8}$ 的范围内,符合食品干燥规律。随着燕麦含量的增加,有效水分扩散系数先减小后增大,当燕麦含量增加,其谷蛋白吸水增多,同时面筋网络形成不够完整,使内部淀粉颗粒排列无序,影响水分子的扩散,使干燥变缓。当燕麦含量过大,面筋网络难以形成,面条结构松散,孔隙较多,干燥变快^[28]。

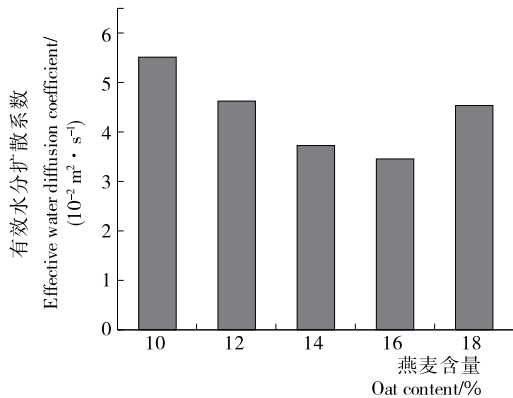


图 3 不同燕麦含量复合面条的有效水分扩散系数

Figure 3 The effective water diffusion coefficient of composite noodles with different oat content

2.4 燕麦粉添加量对复合面条感官品质的影响

2.4.1 模糊数学模型的构建 以色泽、外观、口感、食味为因素集, $U = \{\text{色泽 } u_1, \text{外观 } u_2, \text{口感 } u_3, \text{食味 } u_4\}$; 以好、较好、一般、差为评语集, $V = \{\text{好, 较好, 一般, 差}\}$; 权重集为 $\{0.1, 0.2, 0.4, 0.3\}$; 模糊关系综合评判集 $Y = X \times R$ (X 为权重集, R 为模糊矩阵)。采用 $M(\wedge, \vee)$ 算子进行模糊运算。

2.4.2 感官评定结果 感官评定结果见表 7,对感官评定结果输出模糊集进行归一化处理^[29]。当燕麦含量为 10%时,感官评价输出的模糊集为 $Y_1 = \{0.4, 0.3, 0.2, 0.2\}$,对 Y_1 进行归一化处理得 $Y_1' = \{0.36, 0.28, 0.18, 0.18\}$;同理,当燕麦含量为 12%,14%,16%,18%时,输出的归一化模糊集分别为 $Y_2' = \{0.28, 0.36, 0.18, 0.18\}$,

$Y_3' = \{0.27, 0.27, 0.36, 0.1\}$, $Y_4' = \{0.25, 0.17, 0.33, 0.25\}$, $Y_5' = \{0.17, 0.33, 0.25, 0.25\}$,不同燕麦含量条件下对应模糊矩阵中的峰值分别为 0.36,0.36,0.36,0.33,0.33,各峰值分别对应相应归一化模糊集中的第 1、第 2、第 3、第 3、第 2 个数值,对应的评语顺序为“好”“较好”“一般”“一般”“较好”且燕麦含量为 12%时的峰值大于含量为 18%时,故在 12%时更好,同理,在一般条件下含量为 14%时更好。经过模糊数学评定可知,不同含量的感官评价结果为 $10\% > 12\% > 14\% > 18\% > 16\%$,由此可见,当燕麦添加量为 10%时感官品质最好,添加量为 16%时感官品质最差。

表 7 不同燕麦添加量复合面条感官评定表

Table 7 Sensory evaluation of composite noodles with different oat contents

燕麦添加量/%	感官指标	级别			
		好	较好	一般	差
10	色泽	4	5	1	0
	外观	3	3	2	2
	口感	5	3	1	1
	食味	4	4	2	0
12	色泽	4	2	2	2
	外观	2	5	2	1
	口感	3	4	1	2
	食味	3	4	2	1
14	色泽	3	4	3	0
	外观	2	4	3	1
	口感	2	3	4	1
	食味	3	3	3	1
16	色泽	3	2	3	2
	外观	2	3	4	1
	口感	2	2	5	1
	食味	4	2	1	3
18	色泽	1	3	3	3
	外观	3	3	3	1
	口感	2	4	2	2
	食味	2	2	3	3

燕麦添加量为 10%时感官品质最好,因为其咀嚼性、弹性、硬度 3 个质构主成分指标均表现最好,有较强的适口性,易于大部分人接受。随着燕麦添加量的增加,其咀嚼性、弹性均呈现整体下降趋势,面条表现为不够劲道、没有嚼劲,感官评分依次降低。当燕麦添加量为 16%时,其硬度指标明显较小,表现为面条软烂、断条严重,故其感官评分最低。

3 结论

通过考查不同比例燕麦粉添加量对马铃薯复合面条

品质的影响,发现伴随燕麦含量升高,复合面条膳食纤维溶胀及淀粉溶出导致其质构特性综合评分先降低后升高,表现在咀嚼性因子、黏弹性因子和硬度因子先减小后增大。通过扫描电镜分析其结构和孔隙率,当燕麦含量较低时面条结构致密,孔隙率较小,当燕麦粉含量过大会导致面条结构松散,孔隙较大,品质较差。

通过对燕麦不同含量复合面条进行同一条件的热泵分段干燥,结果显示随着燕麦含量的增加,其有效水分扩散系数先减后增,由于面筋网络形成不充分且与淀粉颗粒排布不均匀,影响水分的扩散,但燕麦含量过大会使面条结构松散,孔隙较大,会加快水分扩散,当燕麦含量为 10% 时复合面条的有效水分扩散系数最大,干燥时间缩短,干燥速率更高,更适宜实际生产;通过模糊数学法进行感官评定,得到燕麦含量为 10% 时所得评分最高,感官接受度更高。

本研究基于复合面条的质构特性、干燥特性、感官特性等品质,对各组分复合过程中淀粉、蛋白质等微观层面的变化机理并未深入探究,为更好地研究燕麦添加量对复合面条的影响,仍需进一步探究复合面条分子层面的复合机理并分析其与品质特性的相关性。

参考文献

[1] 曾凡逸, 许丹, 刘刚. 马铃薯营养综述[J]. 中国马铃薯, 2015, 29(4): 233-243.

[2] 李文娟, 秦军红, 谷建苗, 等. 从世界马铃薯产业发展谈中国马铃薯的主粮化[J]. 中国食物与营养, 2015, 21(7): 5-9.

[3] 王希卓, 朱旭, 孙洁, 等. 我国马铃薯主粮化发展形势分析[J]. 农产品加工, 2015(3): 52-55.

[4] 刘翠, 巩阿娜, 刘丽, 等. 燕麦营养成分与加工制品现状研究进展[J]. 农产品加工, 2015(8): 67-70.

[5] MA Yu-jie, GUO Xu-dan, LIU Hang, et al. Cooking, textural, sensorial, and antioxidant properties of common and tartary buckwheat noodles [J]. Food Science & Biotechnology, 2013, 22(1): 153-159.

[6] 李叶贝, 任广跃, 屈展平, 等. 不同粒度马铃薯全粉对复合面条品质的影响[J]. 食品科学, 2017, 38(19): 55-60.

[7] CHOY A L, MAY B K, SMALL D M. Effects of acetylated potato starch and sodium carboxymethyl cellulose on the quality of instant fried noodles [J]. Food Hydrocolloids, 2012, 26(1): 2-8.

[8] 李升, 王佳佳, 叶发银, 等. 3 种改良剂提升高含量紫薯挂面品质的研究[J]. 食品与发酵工业, 2017(11): 146-152.

[9] ZHANG Wei-dong, SUN Cai-ling, HE Feng-li, et al. Textural characteristics and sensory evaluation of cooked dry Chinese noodles based on wheat-sweet potato composite flour[J]. International Journal of Food Properties, 2010, 13(2): 294-307.

[10] 张东仙, 项怡, 陈永强, 等. 添加燕麦麸皮对挂面品质特性的影响[J]. 食品工业科技, 2015, 36(3): 105-109.

[11] 田志芳, 石磊, 孟婷婷, 等. 活性小麦面筋对燕麦全粉面条品质的影响[J]. 核农学报, 2014, 28(7): 1 214-1 218.

[12] 王乐, 黄峻榕, 张宁, 等. 马铃薯面条制作工艺及品质研究[J]. 食品研究与开发, 2017, 38(1): 78-82.

[13] 张艳荣, 郭中, 刘通, 等. 微细化处理对食用菌五谷面条蒸煮及质构特性的影响[J]. 食品科学, 2017, 38(11): 110-115.

[14] 汪礼洋, 陈洁, 吕莹果, 等. 主成分分析法在挂面质构品质评价中的应用[J]. 粮油食品科技, 2014, 22(3): 67-71.

[15] 曾令彬, 赵思明, 熊善柏, 等. 风干白鲢的热风干燥模型及内部水分扩散特性[J]. 农业工程学报, 2008, 24(7): 280-283.

[16] MAN Zhou, XIONG Zhou-yi, JIE Cai, et al. Convective air drying characteristics and qualities of non-fried instant noodles[J]. International Journal of Food Engineering, 2015, 11(6): 851-860.

[17] 刘文超, 段续, 任广跃, 等. 黄秋葵真空干燥行为及干燥参数的响应面试验优化[J]. 食品科学, 2016, 37(24): 29-39.

[18] 周彤, 陈恺, 董卓群, 等. 基于回归分析法建立杏梅凉果感官评分方程[J]. 食品与机械, 2017, 33(8): 183-188.

[19] 潘治利, 田萍萍, 黄忠民, 等. 不同品种小麦粉的粉质特性对速冻熟制面条品质的影响[J]. 农业工程学报, 2017, 33(3): 307-314.

[20] 王振东, 王彦清, 周瑞铮, 等. 基于主成分分析法的羊肉特征性风味强度评价模型的构建[J]. 食品科学, 2017, 38(22): 162-168.

[21] NIU Meng, HOU G G, KINDELSPIRE J, et al. Micro-structural, textural, and sensory properties of whole-wheat noodle modified by enzymes and emulsifiers [J]. Food Chemistry, 2017, 223: 16.

[22] WU Kao, LUCAS P W, GUNARATNE A, et al. Indentation as a potential mechanical test for textural noodle quality[J]. Journal of Food Engineering, 2016, 177: 42-49.

[23] 杨铭铎, 于亚莉, 高峰, 等. 湿面品质的影响因素研究[J]. 中国粮油学报, 2004, 19(2): 35-41.

[24] 刘颖, 刘丽宅, 于晓红, 等. 马铃薯全粉对小麦粉及面条品质的影响[J]. 食品工业科技, 2016, 37(24): 163-167.

[25] 刘云宏, 苗帅, 孙悦, 等. 接触式超声强化热泵干燥苹果片的干燥特性[J]. 农业机械学报, 2016, 47(2): 228-236.

[26] CAO Xin-lei, ZHOU Su-mei, YI Cui-ping, et al. Effect of whole wheat flour on the quality, texture profile, and oxidation stability of instant fried noodles[J]. Journal of Texture Studies, 2017, DOI:10.1111/jtxs.12274.

[27] 关志强, 王秀芝, 李敏, 等. 荔枝果肉热风干燥薄层模型[J]. 农业机械学报, 2012, 43(2): 151-158.

[28] JIANG Song, YAO Dan-dan, SUN Ke, et al. Effects of different processing conditions on the mechanical properties of dry noodles[J]. Journal of Texture Studies, 2014, 45(5): 387-395.

[29] 韩科研, 黄继超, 刘冬梅, 等. 鸭骨汤酶解液的美拉德反应条件优化[J]. 食品科学, 2018, 39(4): 261-267.