

添加红薯叶对复合面条性能的影响

张迎敏¹, 任广跃^{1,2*}, 段续^{1,2}, 李琳琳^{1,2}, 樊小静¹, 王兆凯¹

(¹河南科技大学食品与生物工程学院 河南洛阳 471023

²粮食储藏安全河南省协同创新中心 郑州 450001)

摘要 为探究添加红薯叶粉对复合面条性能的影响,以干燥特性、煮制特性、固形物溶出率、质构特性、感官特性、色泽以及微观结构为指标,采用主成分分析法、模糊数学法等统计学方法分析,结果表明:随着红薯叶粉添加量的增大,红薯叶复合面条面筋结构的孔隙率变大,加快了干燥速率,在一定程度上降低了能耗。红薯叶复合面条质构的综合评分随红薯叶粉添加量的增加而减小,说明红薯叶中的膳食纤维弱化了面筋蛋白的形成,对复合面条的质构特性产生负面影响。当红薯叶粉添加量为 5% 时,面条的质构品质最高,复合面条的色泽最鲜亮,适口性最佳,感官综合评分最高。当红薯叶添加过量,会增大复合面条的断条率和损失率,使色素沉积,面条暗淡,且红薯叶香味过于浓郁。本研究为红薯叶在面制品研发中的应用提供一定的理论依据。

关键词 红薯叶粉; 添加量; 复合面条; 特性

文章编号 1009-7848(2022)08-0190-10 **DOI:** 10.16429/j.1009-7848.2022.08.021

红薯叶是红薯藤蔓叶子,又叫地瓜叶、甘薯叶,是天然的绿色食品,在中国的西部乃至世界被誉为“蔬菜皇后”“抗癌蔬菜”^[1]。红薯叶中富含膳食纤维,其在人体消化系统中的作用突出,可促进肠胃蠕动;红薯叶中还富含多酚、植固醇、黄酮类化合物等,多酚类物质可以抵御细胞癌变的发生,黄酮类物质对乳汁的分泌有促进作用。除此之外,红薯叶中还有其它蔬菜没有的保健功能,如增强免疫力,增强凝血功能,降低血糖等。红薯叶中的有机物质不仅可以保持皮肤细腻,还可以延缓衰老^[2-4]。Drapal 等^[5]比较了 6 个品种的红薯叶片和叶柄的抗氧化活性成分的含量及其抗氧化活性,发现红薯叶片比叶柄具有更高的抗氧化能力。黄盛蓝等^[3]介绍了红薯叶中多种营养成分的含量,分析了红薯叶中的主要活性成分,并概述目前红薯叶的综合开发利用现状。因储存和运输条件所限,红薯叶相关产品的加工容易造成原料损失和营养物质的恶化^[6],再加上目前红薯叶利用率较低,大部分都被遗弃在农田,造成资源的严重浪费,有效开发利

用红薯叶已成为亟待解决的问题^[7]。

本研究将红薯叶干燥制粉,添加到复合面条中,探究红薯叶粉对其复合面条干燥特性、煮制特性、质构特性、感官特性、色泽、微观结构的影响,确定面条的最佳配比,为红薯副产品加工提供理论和技术支撑。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

新鲜脱毒红薯叶,洛阳市红薯产业协会;精制碘盐、陈克明小麦粉,洛阳大张超市;谷朊粉(100目),封丘县华丰粉业有限公司;ZnAc₂(分析纯级),天津市科密欧化学试剂有限公司;EDTA-2Na(分析纯级),天津市德恩化学试剂有限公司。

1.2 材料与仪器

GHRH-20 热泵干燥机,广东省农业机械研究所;101 电热鼓风干燥箱、220V-AC 万用电炉,北京科伟永兴仪器有限公司;SMS TA.XT Epress 食品物性分析仪,Stable Micro Systems Ltd;color 15 色差仪,美国爱色丽公司;TM 3030 Plus 扫描电镜,日本日立高新技公司;FKM-20 压面条机,永康市炫林工贸有限公司;YP10002 电子天平,上海衡际科学仪器有限公司;HC-200 高速多功能粉碎机,浙江省永康市金穗机械制造有限公司;GB/T 6003.1-2012 标准检验筛,绍兴市上虞华丰五金仪器有限

收稿日期: 2021-08-06

基金项目: 国家自然科学基金项目(31671907);国家重点研发计划项目(2017YFD0400901);河南省科技攻关项目(182102110043)

作者简介: 张迎敏(1994—),女,硕士

通信作者: 任广跃 E-mail: guangyueyao@163.com

公司。

1.3 试验方法

1.3.1 红薯叶复合面条制作工艺

1.3.1.1 红薯叶粉制备 挑选叶片颜色均匀一致、无虫眼、新鲜的红薯叶,根据实验室前期对红薯叶预处理和干燥工艺的探究可知,把红薯叶放到90℃护色液中护色90s,护色液中 $ZnAc_2$ 与EDTA-2Na的质量比为1:1(护色剂总量3g/kg水),护色后冷却沥水以待干燥^[8];将沥干的红薯叶放于52℃的热泵中进行干燥直至水分含量为58%迅速转到73℃热风中进行后期干燥,待其水分降至安全水分(红薯叶粉含水量均低于8%,符合粉体贮藏安全水分要求),粉碎后过100目筛备用^[9]。

1.3.1.2 和面 用电子天平称取混合粉200g,其中红薯叶粉添加量分别为5%,10%,15%,20%,25%,谷朊粉20g,其余为小麦粉。将2g食盐充分溶解在100mL蒸馏水中,将溶解的食盐水倒入混合粉中搅拌成面絮状,糅合5min,使面絮干湿得当,表面没有大量干粉且用手紧握时恰好不散,手松时又能零散成絮。

1.3.1.3 熟化 为了形成更完整的面筋网络结构,把糅和好的面团放入保鲜袋中置于室温20min。

1.3.1.4 切面 将熟化后的面团放到压面机中进行反复轧延,直到面带表面光滑,调小面辊的间隙,再复辊2~3次,直到面片的色泽均匀一致,然后安装切面刀,根据需要调节切刀的宽度进行出面,最后的生鲜面条长200mm,宽3mm,厚1mm。

1.3.1.5 干燥 将上述的生鲜面条放入热泵干燥机内进行干燥,其中风速1.5m/s,温度40℃,使面条的湿基含水率降到13%以下(安全水分含量),备用。

1.3.2 干燥特性的测定 干基含水率可按公式(1)计算^[10]:

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

式中, M_t ——任意干燥时间 t 时面条的质量,g; M_1 ——任意干燥时间 t 时鲜湿面条的初始质量,g; X ——任意干燥时间 t 时面条的干基含水

率,g/g; ω_1 为初始湿基含水率,g/g。

干燥过程中的干燥速率按公式(2)计算^[11]:

$$U(g/(g \cdot h)) = \frac{X_t - X_{t+\Delta t}}{\Delta t} \quad (2)$$

式中, U ——干燥速率,g/(g·h); X_t ——干燥时间 t 时面条的干基含水率,g/g; $X_{t+\Delta t}$ ——干燥时间 $t+\Delta t$ 时面条的干基含水率,g/g; Δt ——干燥间隔时间,h。

1.3.3 最佳煮制时间的测定 使用可调式电炉加热1000mL水,待水微沸时投放40根面条,煮制2min后开始取样,接着每隔30s取一根,用剪刀剪断并细观红薯复合面条断截面的白硬心线,白线消没的煮制时间即为最佳煮制时间^[12]。

1.3.4 煮制断条率的测定 使用可调式电炉加热1000mL水,等水微沸时放入40根面条,达到最佳煮制时间后,停止加热,把面条轻轻挑出放到凉水中过滤,按公式(3)计算煮制断条率(S)^[13]:

$$S(\%) = \frac{\text{复合面条的断裂数}}{40} \times 100 \quad (3)$$

1.3.5 煮制损失率测定 称取10.0g样品,精确至0.1g,放入盛有500mL沸水的烧杯中,用电炉加热,保持水的微沸状态,煮至最佳煮制时间,用筷子挑出挂面,把面汤放至常温后,转入500mL容量瓶中定容后摇匀,向恒重250mL的烧杯倒入50mL面汤,放在可调式电炉上蒸发大部分水分后,再吸入面汤50mL,继续蒸发至近干,放入105℃烘箱内烘至恒重,质量记为 M ,计算煮制损失率^[14]。

$$P(\%) = \frac{5 \times M}{G \times (1 - W)} \times 100 \quad (4)$$

式中, P ——面条煮制损失率,%; M ——100mL面汤干燥至恒重的质量,g; W ——面条初始含水量,g/g; G ——初始面条质量,g。

1.3.6 质构特性的测定 质构特性分别进行质地剖面分析(Texture profile analysis, TPA)试验和剪切特性测试,得到硬度、胶黏性、弹性及凝聚力等值^[15]。

TPA测试参数:探头规格:P/75,测前速率(Pre-test rate):1.0mm/s,测中速率(Testing rate):0.8mm/s,测后速率(Post-test rate):5.0mm/s,压缩程度(Degree of compression):70%,停留时间(Stay time):5s,触发力(Trigger force):5g,每

组试验做6个水平取平均值^[10,16]。煮制30根复合面条,待其达到最佳煮制时间,迅速取出过水1 min,然后取5根并截取长为8 cm复合面条平行摆放在测试台上进行测定。

1.3.7 感官特性标准 红薯叶面条的感官评价小

组由5名有一定学术见解的专业人员组成,对熟制之后的复合面条的色泽、风味等进行综合评估。评分标准参考LS/T 3202-1993《面条用小麦粉》,部分进行参考修改,具体参考执行标准如表1所示^[17]。

表1 红薯叶复合面条感官评价指标

Table 1 Sensory evaluation index of sweet potato leaf compound noodles

指标	满分	评价标准
外观状态	10	红薯叶复合面条表面光滑度和膨胀度,表层细滑为8~10分;中间为6~8分;表层粗糙且变形严重为1~6分
色泽	10	红薯叶复合面条的颜色和亮度,面条颜色鲜绿、光亮为8~10分;彩亮一般为6~8分;颜色浓重、亮度差为1~6分
韧性	20	面条在咀嚼时,嚼劲和弹性的大小,有嚼劲、弹性大为15~20分;一般为10~15分;嚼劲差、弹性差为1~10分
适口性	20	牙咬断面条所使力的的大小,力度适中为17~20分;稍软或硬为12~17分;太软或太硬为1~12分
光滑性	10	品尝红薯叶复合面条时的光滑程度,光滑度好为7~10分;一般为4~7分;光滑程度差为1~4分
黏性	20	咀嚼过程中,红薯叶复合面条的黏牙程度,爽口且不粘牙为15~20分;一般为10~15分;差到不爽口、发黏为1~10分
风味	10	指品尝时的味道。红薯叶清香味适中7~10分;红薯叶香味过于浓郁5~7分;香味过淡1~5分

1.3.8 面条色泽测定 取面条25根,放入1 000 mL沸水中煮至最佳煮制时间,捞出后淋水1 min,将5根长为5 cm的面条紧密平行放在平板上,用色差计测定Lab值,每组做5次平行试验并求均值^[18]。

1.3.9 微观结构 干制面条放于扫描电镜下,观察红薯叶面条横面和切面微观结构。

1.3.10 数据处理 采用Origin 8.5和SPSS 20.0软件进行数据分析和作图。

2 结果与分析

2.1 红薯叶粉添加量对其复合面条干燥特性的影响

不同红薯叶粉添加量复合面条的干燥曲线和干燥速率如图1所示。设定红薯叶复合面条的干燥终点时间为110 min,其中添加量为5%,10%,15%,20%,25%的初始干基含水率分别为0.455,0.4945,0.4585,0.5026,0.5214 g/g,干燥终点时其干基含水率依次为0.1439,0.1248,0.1649,

0.1552,0.1467 g/g,不同含量红薯叶粉的生鲜复合面条的含水率不同。红薯叶粉含量为25%的初始干基含水率最大,干燥速率最快,其原因在于当红薯叶粉含量较高时,其木质纤维含量随之增加,面筋蛋白含量则相对较低,因而形成的面筋网络不稳定且孔隙较大,致使自由水占比提升,水分蒸发速率较快。适量红薯叶粉能提高面条面筋结构的孔隙率,加快水分扩散进而提高干燥速率;过多的红薯叶粉则容易使面筋结构被破坏从而降低面条的品质。由图1可知,在相同干燥时间内,红薯叶粉添加量为10%的面条在干燥终点时干基含水率最低,干燥速率相对较高。干燥至相同干基含水率时,红薯叶粉添加量为10%的面条所需要的时间最短,干燥能耗最低。在干燥初期,添加量为25%的面条干燥速率小于添加量为10%的干燥速率,从中期开始大于10%的干燥速率,这说明红薯叶添加过量影响红薯叶复合面条干燥后期的干燥速率。

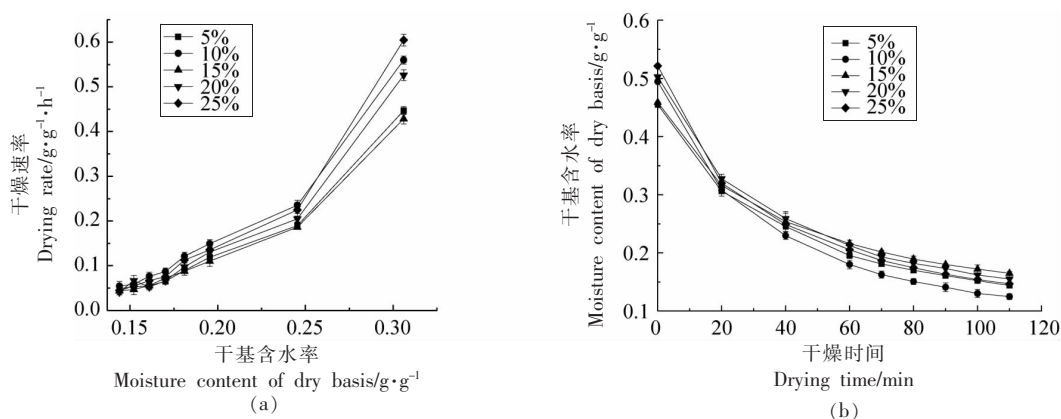


图 1 不同红薯叶粉添加量复合面条的干燥特性曲线图

Fig.1 Drying characteristic curve diagram of compound noodles with different additions of sweet potato leaf powder

2.2 红薯叶粉添加对其复合面条质构特性的影响

性分析仪测定了不同添加量红薯叶复合面条的 TPA 特性和剪切特性，测定结果如表 2 和表 3 所示。

2.2.1 红薯叶复合面条的质构特性 通过食品物

表 2 红薯叶复合面条 TPA 特性测定结果

Table 2 Test results of TPA characteristics of sweet potato leaf compound noodles

红薯叶粉添加量/%	硬度/g	胶黏性/g·s	弹性	凝聚力	胶着性	咀嚼性	回复性
5	2 715.47±42.62	35.68±1.15	0.34±0.03	0.86±0.01	2 358.11±19.48	818.15±23.52	0.67±0.02
10	609.08±38.96	26.84±1.37	0.72±0.05	0.91±0.01	551.12±9.83	403.19±5.71	0.36±0.01
15	1 122.50±25.43	27.70±1.11	0.83±0.06	0.93±0.01	1 044.18±27.81	869.98±12.59	0.44±0.01
20	1 462.32±34.53	36.95±1.25	0.86±0.03	0.92±0.01	1 520.68±28.83	1 347.57±24.95	0.50±0.06
25	2 162.54±36.32	43.70±1.67	0.89±0.02	0.92±0.01	2 117.54±38.78	1 914.56±43.68	0.55±0.02

表 3 红薯叶复合面条剪切特性测定结果

Table 3 Test results of shear characteristics of sweet potato leaf compound noodles

红薯叶粉添加量/%	延展性/g·s ⁻¹	剪切硬度/g	剪切咀嚼性/g·s	剪切黏性/g·s
5	195.01±2.15	429.12±12.74	563.39±15.15	0.07±0.05
10	220.09±7.84	456.17±8.22	508.91±11.71	0.32±0.04
15	212.67±11.04	436.94±10.60	494.25±7.85	0.19±0.10
20	172.95±10.72	375.45±7.87	473.07±5.76	0.03±0.02
25	127.27±8.55	332.13±9.58	404.61±2.47	0.37±0.01

2.2.2 红薯叶复合面条质构指标的主成分分析

由于红薯叶复合面条的各个质构特性指标都存在一定相关性,容易造成评价信息的重复,因此采用主成分分析法对 11 个质构指标进行降维分析得到具有代表性的评价指标,消除变量之间的相关性,减轻评价负担得到综合评分^[11,19]。图 2 是分析碎石图,表 4 是相关主成分的特征值和累计贡献率,由图 2 和表 4 可知,前 2 个主成分的方差贡

献率分别为 52.073%和 39.175%,累积贡献率为 91.248%,对应的主成分特征值也均大于 1,说明前 2 个主成分包含了大部分原始信息,能更全面地反映红薯叶复合面条的质构品质特性,故可选取前 2 个主成分进行分析。

表 5 是主成分载荷矩阵,反映了各项质构指标对主成分贡献率的大小,从表中可知,第 1 主成分起重要作用的是硬度(X₁)、胶黏性(X₂)、胶着性

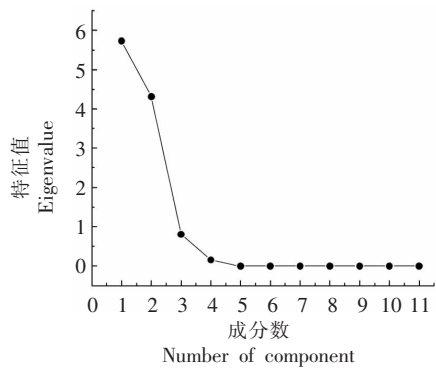


图2 主成分分析碎石图

Fig.2 Principal component analysis gravel diagram

表4 主成分的特征值及贡献率

Table 4 Eigen value and contribution rate of principal component number

主成分数	特征值	贡献率/%	累积贡献率/%
Z ₁	5.728	52.073	52.073
Z ₂	4.309	39.175	91.248
Z ₃	0.808	7.341	98.589
Z ₄	0.155	1.411	100.000

表5 主成分载荷向量表

Table 5 Principal component loading matrix

指标	硬度	胶黏性	弹性	凝聚力	胶着性	咀嚼性	回复性	延展性	剪切硬度	剪切咀嚼性	剪切黏性
Z ₁	-0.700	0.985	-0.214	-0.075	-0.799	-0.952	-0.639	0.975	0.949	0.637	0.076
Z ₂	0.695	-0.084	-0.954	-0.925	0.591	-0.282	0.761	0.188	0.283	0.766	0.588

表6 不同添加量红薯叶复合面条质构特性综合评分表

Table 6 Comprehensive texture score table of sweet potato leaf compound noodles

红薯叶粉添加量/%	F ₁	F ₂	F
5	-0.193	3.681	1.470
10	2.841	-0.898	1.237
15	1.559	-0.986	0.467
20	-0.777	-0.512	-0.663
25	-3.430	-1.284	-2.509

通过主成分综合分析得到红薯叶复合面条质构特性的主成分因子主要是胶黏性因子和剪切咀嚼性因子,胶黏性随红薯叶粉添加量的增加先减小后增大,说明红薯叶粉在一定程度上能降低面条的胶黏性,在添加量为10%达到最低值。红薯叶粉的添加相对减少了淀粉含量,胶着性会因此降

(X₅)、咀嚼性(X₆)、延展性(X₈)、剪切硬度(X₉);第2主成分起主要作用的是弹性(X₃)、凝聚力(X₄)、回复性(X₇)、剪切咀嚼性(X₁₀)、剪切黏性(X₁₁)。根据各自成分载荷向量除以各自成分特征值的算术平方根得到成分得分系数,是即各主要成分解析表达式中的标准化变量的系数向量,故各主要成分解析表达式如下F₁和F₂所示。

$$F_1 = -0.293X_1 + 0.411X_2 - 0.089X_3 - 0.031X_4 - 0.334X_5 - 0.398X_6 - 0.267X_7 + 0.407X_8 + 0.397X_9 + 0.266X_{10} + 0.032X_{11}$$

$$F_2 = 0.335X_1 - 0.040X_2 - 0.459X_3 - 0.445X_4 + 0.285X_5 - 0.136X_6 + 0.366X_7 + 0.091X_8 + 0.136X_9 + 0.369X_{10} + 0.283X_{11}$$

通过SPSS 20.0把各指标的原始数据进行标准化带入个主成分解析表达式中,分别计算出2个主成分得分F₁和F₂。以不同主成分的方差贡献率与主成分累积贡献率之比β_i(i=1,2,3,⋯⋯, k)为加权系数,建立评价模型F=β₁F₁+β₂F₂+β₃F₃⋯⋯β_kF_k^[10],得到红薯叶复合面条质构特性的评价模型为:F=0.571F₁+0.429F₂,将主成分得分带入模型,得到不同添加量红薯叶复合面条的质构特性的综合评分,结果如表6所示。

低;剪切咀嚼性随红薯叶粉添加量的增加而减小,红薯叶中膳食纤维丰富,膳食纤维吸水能力很强,能增大面团的体积,影响面条面筋结构的形成,致使面筋蛋白质含量下降,剪切咀嚼性因此降低。表6是不同红薯叶粉添加量复合面条的质构特性的综合评分,随着红薯叶粉添加量的增加,复合面条

的综合评分是呈下降趋势,添加量为 5%时,综合评价最高,质构品质最高,这是因为随着红薯叶粉的添加,膳食纤维含量也不断增加,弱化了面筋蛋白的形成,对复合面条的质构特性产生一定负影响,这与张美霞等^[20]和汪礼洋等^[21]对金银花面条及挂面质构特性研究结果一致。

2.3 红薯叶复合面条的煮制特性

由图 3 可知,随着红薯叶粉添加量的增加,红薯叶复合面条的煮制损失率和煮制断条率均呈现先减小后增大的趋势。煮制损失的主要是复合面条在煮制过程中面汤中所有的固形物,煮制损失率越低则表明复合面条的质量越优,适量的红薯叶粉能重构复合面条的面筋结构,红薯叶粉中膳食纤维的多聚糖能和面条中的面筋蛋白发生交联作用,在一定程度上改变了面筋的三维网状结构,膳食纤维吸水膨胀增大了面条的体积,增加了淀粉颗粒被面筋蛋白包裹的面积,在一定程度上减少了淀粉的析出,降低煮制损失率;过量的红薯叶粉会稀释混合粉中面筋蛋白的含量,膳食纤维吸水膨胀过大,会弱化面筋蛋白的结构,淀粉颗粒包裹的不稳定,在煮制过程中面筋结构很容易被破坏,因此面汤中的淀粉和红薯叶粉颗粒随红薯叶粉添加量的增加而增多。煮制断条率可以用来表明红薯叶复合面条的韧性和耐煮性,添加一定量的红薯叶粉在一定程度上有利于降低红薯叶复合面条的煮制断条率,膳食纤维越多,形成的网络结构越不稳定,韧性减弱,煮制过程中面条越易断裂,红薯叶复合面条的煮制断条率在添加量为 10%时最低。

2.4 添加红薯叶粉对其复合面条感官特性的影

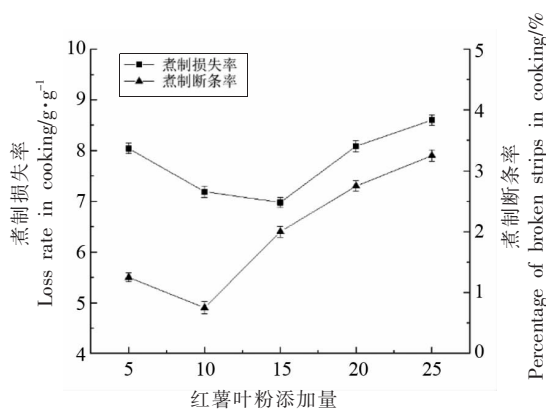


图 3 不同添加量红薯叶复合面条煮制特性

Fig.3 Cooking characteristics of sweet potato leaf compound noodles with different addition amount

响

表 7 是煮熟后红薯叶复合面条的感官评分,不同添加量红薯叶复合面条的感官评分结果为 5%>10%>15%>20%>25%,当红薯叶粉的添加量为 5%,感官评分结果达到最大值 93.57 分;当红薯叶粉添加量为 25%时,感官评分为 55.20,红薯叶复合面条的感官品质最差,这与质构特性主成分综合分析结果一致。当红薯叶粉的添加量为 5%时,红薯叶复合面条的感官品质最佳,煮制后面条表面最光滑,面条的横截面紧密有致,颜色鲜绿,咀嚼时韧性最高,适口性最佳,有淡淡的红薯叶清香。红薯叶粉的添加量越高,面条的亮度越来越暗淡,颜色慢慢变成了黑绿,咀嚼时软糯甚至有点黏牙,韧性和硬度都越来越小,红薯叶粉的青涩味越来越浓,适口性变得越来越差。

表 7 红薯叶复合面条感官评分表

Table 7 Sensory score table of sweet potato leaf compound noodles

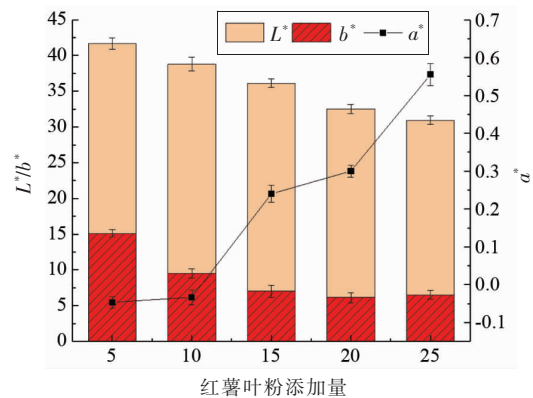
指标	红薯叶粉添加量				
	5%	10%	15%	20%	25%
外观状态	9.30	8.40	7.84	6.90	5.94
色泽	9.18	8.38	7.10	6.64	5.92
韧性	19.05	17.90	16.70	14.44	12.06
适口性	18.70	17.72	16.10	13.40	11.06
光滑性	9.26	8.50	6.70	5.90	4.38
黏性	18.72	17.88	15.80	13.82	10.16
风味	9.28	8.46	7.20	6.14	5.68
总分	93.57	87.24	77.44	67.24	55.20

2.5 红薯叶粉添加量对其复合面条色泽的影响

面条颜色是人们选择的重要影响因素,只有色香味俱全的面条才是消费者的最爱。由图4可知,随着红薯叶粉的添加,面条的亮度 L^* 值和黄蓝值 b^* 逐渐下降,红绿值 a^* 逐渐上升。不溶性谷蛋白含量与复合面条色泽亮度呈显著正相关,红薯叶粉增多,相应混合粉中面粉含量减少,不溶性谷蛋白含量就会减少,亮度也会降低。红薯叶粉含量过高,叶绿素也会增多,色素沉积,导致亮度进一步降低,红度值 a^* 逐渐增大,蓝度值 b^* 逐渐降低。红薯叶复合面条在制作过程会因一些酶类反应发生变色现象。例如,红薯叶粉中抗坏血酸氧化酶能催化抗坏血酸的氧化,生成的脱氢抗坏血酸经脱羧反应再聚合可形成黑色素;红薯叶粉中酚类物质经过氧化氢酶类的催化可引起变色,其含有酪氨酸酶在面团熟化和面条轧制过程中随着放置时间的增长而逐渐发生褐变。红薯叶粉中的类胡萝卜素分子结构中含有大量不饱和共轭双键体系,共轭双键是一个吸收光谱的发色团,能呈现由黄到红的颜色,故红薯叶粉含量越高,颜色越浓重,导致复合面条的色泽下降^[22],其中红薯叶粉的添加量为5%时,红薯叶复合面条的色泽品质最佳。

2.6 红薯叶粉添加量对其复合面条微观结构的影响

图5是不同添加量红薯叶复合面条的扫描电镜图。红薯叶复合面条的微观结构决定了其宏观

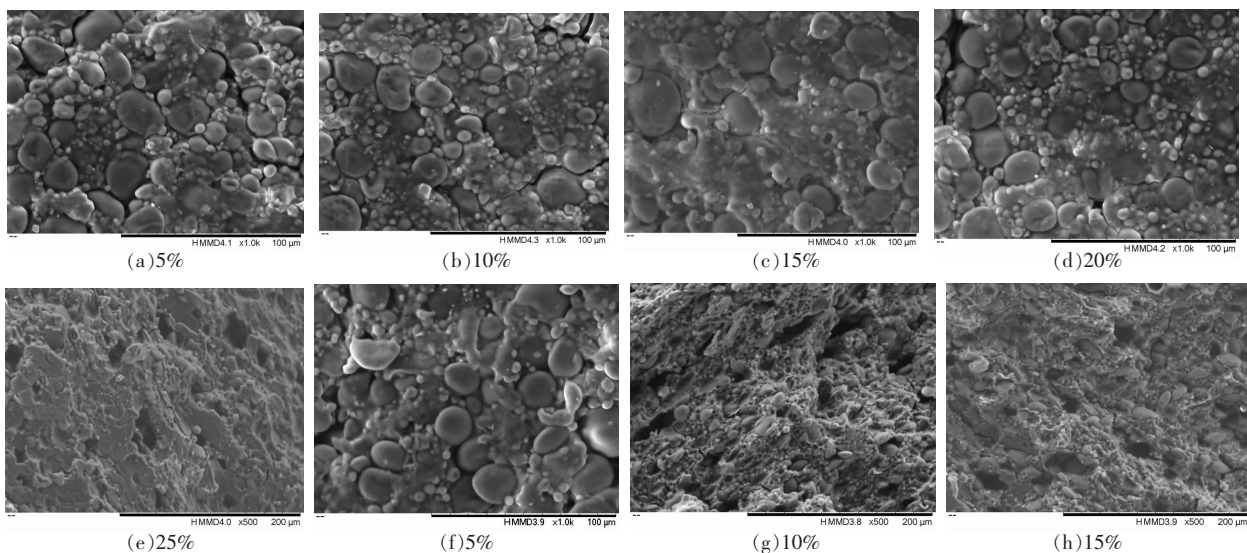


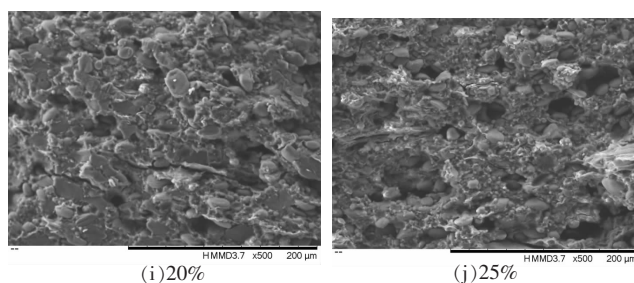
The addition amount of sweet potato leaves powder/%

图4 不同添加量红薯叶复合面条的色泽

Fig.4 The color of compound noodles with sweet potato leaves with different addition amount

特性,内部结构中,蛋白质基质彼此黏连,形成网状结构将淀粉颗粒包裹,形成面筋网络,面筋网络的质量和数量直接影响面条的品质^[23]。由图5a和5f可以看出,红薯叶粉添加量为5%复合面条的蛋白网络结构致密连续,纵切面截面光滑,淀粉颗粒多,故复合面条的韧性和适口性最佳;由图5b和5g可以看出,红薯叶粉含量为10%复合面条的面筋网络明显改善,横截面更平滑,纵截面的孔隙增多,孔径增大,淀粉颗粒被包裹更全面,加固了网络结构,致使添加量10%为复合面条的断条率最低、延展性最高、剪切硬度最高;由图5c和5h可以看出,红薯叶粉含量为15%复合面条的表面开始变得粗糙,这是因为红薯叶粉中膳食纤维使面





(i)20% (j)25%

注:a~e为横截面,f~j为纵截面。

图5 不同添加量红薯叶复合面条的微观结构

Fig.5 Microstructure of compound noodles with sweet potato leaves with different addition amount

筋网络孔隙增大,部分淀粉颗粒裸露在外,故煮熟的复合面条咀嚼性黏性略高;由图5d和5i、图5e和5j可看出,随着红薯叶粉继续增加,蛋白网络结构开始断裂,大颗粒的淀粉完全被暴露,结构疏松,孔隙明显,在干燥时复合面条中水分散失的最快,导致复合面条均一性变差,煮制损失率和煮制断条率增大,适口性变差,与乔菊园等^[24]的试验结果描述一致。

3 结论

通过考察不同红薯叶粉添加量对复合面条品质的影响,发现随着红薯叶粉添加量的增多,面筋网络孔隙变大,孔径变大,自由水比例增大,水分扩散加快,干燥速率大致呈上升趋势;通过主成分分析其质构特性,结果表明各个指标存在一定的相关性,红薯叶中膳食纤维影响面筋结构的形成,红薯叶粉添加量为5%时质构特性的综合评分最高;红薯叶对复合面条的煮制特性也有着显著影响,红薯叶添加过量会增加复合面条的煮制断条率和煮制损失率,导致复合面条的色泽暗淡,红薯叶气味过于浓郁。综上,红薯叶粉在添加量5%时,面条的色泽最鲜亮,适口性最佳,感官评价最高,故选择红薯叶粉最佳添加量为5%。

参 考 文 献

- [1] WANG S N, NIE S P, ZHU F. Chemical constituents and health effects of sweet potato[J]. Food Research International, 2016, 89: 90-116.
- [2] SU X Y, GRIFFIN J, XU J W, et al. Identification and quantification of anthocyanins in purple-fleshed sweet potato leaves[J]. Heliyon, 2019, 5(6): 1-6.
- [3] 黄盛蓝, 张家豪, 梁冰雪, 等. 红薯叶应用价值及开发利用现状[J]. 现代农业科技, 2014(19): 309-311, 313.
HUANG S L, ZHANG J H, LIANG B X, et al. Sweet potato leaf application value and development and utilization status[J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2014(19): 309-311, 313.
- [4] 涂宗财, 傅志丰, 王辉, 等. 红薯叶不同溶剂提取物抗氧化性及活性成分鉴定[J]. 食品科学, 2015, 36(17): 1-6.
TU Z C, FU Z F, WANG H, et al. Comparison of antioxidant activities of various solvent extracts of sweet potato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) leaves and identification of antioxidant constituents of the methanol extract[J]. Food Science, 2015, 36(17): 1-6.
- [5] DRAPAL M, ROSSEL G, HEIDER B, et al. Metabolic diversity in sweet potato (*Ipomoea batatas*, Lam.) leaves and storage roots[J]. Horticulture Research, 2019, 6(1): 1-9.
- [6] SUN H G, MU T H, XI L S, et al. Sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) leaves as nutritional and functional foods [J]. Food Chemistry, 2014, 156(8): 380-389.
- [7] 江玉洁, 李美凤, 陈艳, 等. 红薯叶中黄酮类化合物的研究进展[J]. 轻工科技, 2018, 34(1): 8-9, 57.
JIANG Y J, LI M F, CHEN Y, et al. Advances in the study of flavonoids in sweet potato leaves [J]. Light Industry Science and Technology, 2018, 34(1): 8-9, 57.
- [8] 张迎敏, 任广跃, 屈展平, 等. 超声和烫漂预处理对红薯叶热风干燥的影响[J]. 食品与机械, 2019, 35(12): 194-201.

- ZHANG Y M, REN G Y, QU Z P, et al. Effect of ultrasonic and blanching pretreatment on hot air drying of sweet potato leaves[J]. Food & Machinery, 2019, 35(12): 194-201.
- [9] 张迎敏, 任广跃, 段续, 等. 红薯叶粉热泵-热风联合干燥工艺优化[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(1): 198-205.
- ZHANG Y M, REN G Y, DUAN X, et al. Optimization of heat pump-hot air combined drying on sweet potato leaf powder[J]. Food and Fermentation Industries, 2021, 47(1): 198-205.
- [10] 屈展平, 任广跃, 李叶贝, 等. 燕麦添加量对马铃薯复合面条品质特性的影响[J]. 食品与机械, 2019, 35(1): 186-192.
- QU Z P, REN G Y, LI Y B, et al. Effect of adding oat flour on quality characteristics of potato compound noodles[J]. Food & Machinery, 2019, 35(1): 186-192.
- [11] 李叶贝, 任广跃, 屈展平, 等. 马铃薯小麦复合面条热泵干燥特性及数学模型的研究[J]. 中国粮油学报, 2019, 34(10): 7-15.
- LI Y B, REN G Y, QU Z P, et al. Heat pump drying characteristics and mathematical model of potato wheat compound noodle[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2019, 34(10): 7-15.
- [12] 张豫辉. 淀粉对面条品质的影响研究[D]. 郑州: 河南工业大学, 2015.
- ZHANG Y H. Study on the effect of starch on the quality of noodles[D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2015.
- [13] 范会平, 许梦言, 马静一, 等. 不同品种甘薯生湿面条品质特性及加工适宜性分析[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(24): 111-118.
- FAN H P, XU M Y, MA J Y, et al. Analysis of the quality characteristics and processing suitability of different varieties of sweet potato raw wet noodles[J]. Food and Fermentation Industries, 2019, 45(24): 111-118.
- [14] ZHU F. Frozen steamed breads and boiled noodles: Quality affected by ingredients and processing[J]. Food Chemistry, 2021, 349: 129178.
- [15] AL-BAARRI A N, AULIA R, PRAHASIWI E K, et al. The hardness analysis of noodles made from modified cassava flour, spirulina (*Spirulina platensis*) and basil leaves extract (*Ocimum sanctum* L.) [J]. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2021, 653(1): 1-4.
- [16] 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.
- ZHANG Y R, GUO Z, LIU T, et al. Effect of micronization on cooking and texture properties of five-cereal noodles with edible mushroom[J]. Food Science, 2017, 38(11): 110-115.
- [17] 朱伟. 芹菜在储藏与烹饪过程中营养品质变化及营养素降解动力学模型的研究[D]. 郑州: 河南工业大学, 2017.
- ZHU W. Study on nutritional quality change and nutrient degradation kinetics model of celery during storage and cooking[D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2017.
- [18] 孔雁, 张影全, 邢亚楠, 等. 小麦粉质量性状对兰州拉面色泽的影响[J]. 中国食品学报, 2018, 18(12): 295-301.
- KONG Y, ZHANG Y Q, XING Y N, et al. Effects of wheat flour's quality traits on the color of Lanzhou hand-extended noodles[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2018, 18(12): 295-301.
- [19] 张忆洁, 祁岩龙, 宋鱼, 等. 不同马铃薯品种用于加工面条的适宜性[J]. 现代食品科技, 2020, 36(2): 85-93.
- ZHANG Y J, QI Y L, SONG Y, et al. Suitability of different potato varieties for processing noodles[J]. Modern Food Science & Technology, 2020, 36(2): 85-93.
- [20] 张美霞, 谭美龄. 质构法快速测定金银花面条品质的方法研究[J]. 食品工业科技, 2015, 36(10): 112-115.
- ZHANG M X, TAN M L. Study on rapid determination of honeysuckle noodle quality by texture method[J]. The Food Industry, 2015, 36(10): 112-115.
- [21] 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.
- WANG L Y, CHEN J, LÜ Y G, et al. Application of principal component analysis in texture quality evaluation of dried noodles[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2014, 22(3): 67-71.
- [22] 陈艳, 周小玲, 李娜, 等. 干面条色泽影响因素的

- 相关性分析[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(4): 85-91.
- CHEN Y, ZHOU X L, LI N, et al. Correlation analysis of factors affecting color of dried noodles[J]. Food and Fermentation Industries, 2020, 46(4): 85-91.
- [23] 葛珍珠, 张圆圆, 陈淑慧, 等. 谷朮粉对面条质地及微观结构的影响[J]. 食品科技, 2019, 44(9): 160-165.
- GE Z Z, ZHANG Y Y, CHEN S H, et al. Effects of gluten on the texture and microstructure of noodles [J]. Food Science and Technology, 2019, 44(9): 160-165.
- [24] 乔菊园, 郭晓娜, 朱科学. 麸皮粒径对全麦面片水分分布及挂面品质的影响[J]. 中国粮油学报, 2020, 35(9): 15-20.
- QIAO J Y, GUO X N, ZHU K X. Effects of bran particle size on the water distribution of whole wheat dough sheets and qualities of noodles[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2020, 35(9): 15-20.

Effect of Adding Sweet Potato Leaves Powder on the Characteristics of Compound Noodles

Zhang Yingmin¹, Ren Guangyue^{1,2*}, Duan Xu^{1,2}, Li Linlin^{1,2}, Fan Xiaojing¹, Wang Zhaokai¹

(¹College of Food and Bioengineering, Henan University of Science and Technology, Luoyang 471023, Henan

²Collaborative Innovation Center of Grain Storage Security, Zhengzhou 450001)

Abstract To explore the effect of sweet potato leaves powder addition on the characteristics of sweet potato leaves compound noodles, drying characteristics, cooking characteristics, solids dissolution rate, texture characteristics, sensory characteristics, color and microstructure were used as indicators, principal component analysis, fuzzy mathematical methods and other statistical methods were used for analysis. The results showed that with the increase of the addition amount of sweet potato leaves powder, the gluten structure porosity of the sweet potato leaves compound noodles became larger, the drying rate was accelerated, and the energy consumption was reduced to a certain extent. The comprehensive score of the texture of sweet potato leaves compound noodles decreased with the increase of sweet potato leaves powder, indicating that the dietary fiber in sweet potato leaves weakened the formation of gluten protein, which had a certain negative impact on the texture characteristics of composite noodles. When sweet potato leaves powder was added at 5%, the texture quality was the highest. Sweet potato leaves powder excessive addition increased the stripping rate and loss rate of the composite noodles, the pigmentation was dim, and the sweet potato leaf fragrance was too strong. When the sweet potato leaves powder was added at 5%, the composite noodles had the brightest color, the best palatability, and the highest comprehensive sensory score. This study provides a certain theoretical basis for the research and development of sweet potato leaves in the pasta products.

Keywords sweet potato leaves powder; addition amount; compound noodles; characteristics