

芹菜粉对面团性质及面包品质的影响

徐燕, 张敏, 晁慧梅, 王乃富*, 汪名春, 周裔彬

(安徽农业大学茶与食品科技学院, 合肥 230036)

摘要: 研究2种芹菜粉(“津南实芹”和“文图拉”)的添加量(0、1%、2%、3%和5%)对面团流变特性和面包品质、抗氧化活性的影响。Mixolab和动态流变结果表明,随着2种芹菜粉量的增加,面团的吸水率、弹性模量G'和黏性模量G''呈上升趋势,弱化值C2、峰值黏度C3和回生值C5-C4呈下降趋势。与对照组相比,随着2种芹菜粉量的增加,面包的比容、弹性和回复性减小,而硬度和咀嚼性增大,面包的总酚含量和DPPH自由基清除力也有上升的趋势。感官评价表明“津南实芹”面包较“文图拉”面包更易被人们接受。

关键词: 芹菜粉; 面团流变性; 芹菜面包; 抗氧化能力

中图分类号: TS213.21

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X(2019)04-0576-07

Effect of celery powder on the dough property and bread quality

XU Yan, ZHANG Min, CHAO Huimei, WANG Naifu, WANG Mingchun, ZHOU Yibin

(School of Tea and Food Science, Anhui Agricultural University, Hefei 230036)

Abstract: The effects of different amounts (0, 1%, 2%, 3% and 5%) of two kinds of celery powder (“Jinnan Shiqin” and “Ventura”) on the rheological properties of dough, the quality and antioxidant activity of bread were studied. The results of Mixolab and dynamic rheology showed that, with the increase of the two kinds of celery powder, the water absorption, storage modulus G' and loss modulus G'' of the dough showed all increasing trends, while the protein network weakening C2, peak viscosity C3 and starch crystallinity C5-C4 showed decreasing trends. Compared to the control bread, with the increase of the amount of celery powder, the specific volume, springiness and resilience of bread were decreased, while the hardness and chewiness, the total phenol content and DPPH radical-scavenging activity of bread were increased. Sensory evaluation showed that the bread with addition of “Jinnan Shiqin” was more acceptable than that of “Ventura”.

Key words: celery powder; dough rheology; celery bread; antioxidant activity

芹菜 (*Apium graveolens* L.) 属伞形科, 是一种广泛种植并应用于食品和化妆品行业的常见蔬菜^[1]。芹菜富含维生素、胡萝卜素、蛋白质和纤维素等营养物质, 也是挥发油和抗氧化剂的良好来源之一^[2]。芹菜的各个部位被报道具有多种药用价值如抗菌抗炎、降血糖、降血脂、保护心脏和预防心血管疾病等^[3-5]。而由于芹菜叶片的浓郁中草药气味与苦涩味, 大多数人会摘除叶片只食用其茎部, 但现代营养学分析表明芹菜叶中的营养成分比较丰富, 每 100 g 芹菜叶含铁 1.2~8.5 mg (番茄的 20 倍), 含蛋白质 0.7~2.2 g (一般瓜果蔬菜的 2~3 倍) ^[6]。

面包作为世界上广泛食用的谷物产品之一, 传统上是由小麦面粉、酵母、糖和盐为主要原料, 经过搅拌、发酵和烘焙而成, 它富含碳水化合物, 但功能性成分含量较低^[7]。而开发具有可接受的感官特征且对健康有益的产品成为市场上的一种新趋势^[8], 水果和蔬菜作为营养功能和生物活性化合物的主要来源之一, 将它们与传统的谷物食品相结合, 不仅可以增强谷物制品的风味和颜色, 还可能显著改善谷物食品的营养价值, 因此果蔬面包应运而生。目前已经涌现出许多果蔬面包, 如南瓜、胡萝卜和菠菜面包等^[9]。近年来, 除了研究果蔬面包的加工

收稿日期: 2019-03-06

基金项目: 安徽省自然科学基金(11008761)和安徽省科学计划项目(1704a07020098和Hj20170144)共同资助。

作者简介: 徐燕, 硕士研究生。E-mail: 958424082@qq.com

* 通信作者: 王乃富, 副教授。E-mail: naifuwang@126.com

工艺之外, 关于果蔬面包功能活性的研究也有较多的报道, 如 Gawlik-Dziki 等^[10]研究 1%~5%洋葱皮对面团品质及抗氧化性的影响, 结果表明 3%洋葱皮的添加量在显著提高面包的抗氧化性能的同时, 又有较高的可接受度。Ning 等^[11]研究在面粉中添加 1%~4%的绿茶粉制作的面包的品质与抗氧化性, 与普通面包相比, 1%的绿茶粉面包有效提高了抗氧化活性, 并显著降低了储存过程中的过氧化物含量, 同时保持了面包的烘焙品质。黄贤刚等^[12]研究了 1%~4%添加量的芹菜粉面包, 结果显示 2%的芹菜粉较易接受。

尽管人们对芹菜的营养价值有了比较充分的认识, 但除了鲜食之外, 市场上以芹菜为原料的加工类食品仍然比较稀少。为拓宽芹菜资源利用的途径, 并为芹菜面包的生产提供一定的理论依据, 以期开发出营养丰富且口感较佳的芹菜面包, 作者在研究芹菜粉对面团的流变特性的影响的基础之上, 进一步测定了芹菜粉添加量对面团的结构、抗氧化特性和感官评价, 旨在为芹菜面包的商业化生产提供有价值的指导。

1 材料与方 法

1.1 材料与试剂

小麦面粉: 风筝面粉有限公司; 酵母: 安琪酵母股份有限公司; 白砂糖、食用盐: 购于合肥红府超市。品种“津南实芹”(高大、浅绿色、叶片肥厚)和“文图拉”(高而紧凑、光泽叶) 2 种芹菜粉: 江苏兴化有限公司。没食子酸(GAE)、福林试剂、DPPH 自由基、水溶性维生素 E (Trolox): Sigma 公司。

1.2 主要仪器和设备

Mixolab 混合仪: 法国肖邦仪器有限公司; DHR-1 流变仪: 美国 TA 公司; Biosafte-10A 超临界冷冻干燥机: 赛飞有限公司; 和面机: 小熊牌; FJ-YH 系列高级面包醒发箱: 广州圣恒电器有限公司; 面包模具: 规格 13.9 cm×8.0 cm×5.8 cm; 远红外电热食品烤炉: 广东省佛山市华兴实业有限公司; TA 质构仪: 英国 Stable Micro System 公司。

1.3 试验方法

1.3.1 面粉和芹菜粉的基本成分的测定 参照国标法^[13-17]测定灰分、脂肪、蛋白质、淀粉和纤维含量。

1.3.2 混合粉的制备和面团热机械学特性的测定 根据芹菜粉的品种及其添加量分为对照组、J1、J2、J3、J5、V1、V2、V3 和 V5 组, 对照组为小麦面粉空白组; J 组为添加“津南实芹”组, J1、J2、J3 及 J5 的添加量分别为 1%、2%、3%和 5%; V 组为添

加“文图拉”组, V1、V2、V3 及 V5 的添加量分别为 1%、2%、3%和 5%。

参照徐小云等^[18]方法, 使用 Mixolab 混合仪分析面团热机械学特性, 得到如下参数: 吸水率(%)、面团形成时间(min)、稳定时间(min)、弱化值 C2 (Nm)、峰值黏度 C3 (Nm) 和回生值 C5-C4 (Nm)。
1.3.3 面团动态流变测定 参照 Moreira 等^[19]方法略作修改, 测定面团的动态流变特性。按照方法 1.3.2 制得的混合粉和去离子水以质量比 2:1 相混合, 于 3 min 内搅拌成面团, 覆上保鲜膜密封于室温静置 10 min 后, 压片并切分成均等的面片, 置于载物台上静置 5 min, 再在平板周围涂抹硅油以减少水分的散发。首先以动态测量模式下的应力扫描程序来确定面团的线性黏弹区, 测量参数: 温度 25℃, 直径为 40 mm 的平板, 扫描频率为 1 Hz, 应变范围为 0.01%~1%; 再以线性黏弹区内合适的应变值 (0.1%的应变较适宜), 对面团进行频率扫描 (0.1~40 Hz)。测试结果主要有弹性模量 G'和黏性模量 G''。

1.3.4 面包品质的测定 (1) 面包的制作。本研究中对对照组面包的配方为: 小麦面粉 (300 g), 水 (Mixolab 吸水率的 92%), 干酵母 (4.5 g)、糖 (16 g) 和盐 (3 g)。芹菜面包的制作是分别将小麦面粉替换为如方法 1.3.2 所得的混合粉。将酵母、盐与糖分别溶解在水中, 再同混合粉倒入到和面机中, 搅拌 15 min 左右, 至面团完全成膜。然后将面团切分为 170 g 的均等面团, 于 30℃、80%湿度的醒发箱中发酵。分别在发酵时间 105 和 155 min 时取出发酵面团进行压片, 经过 180 min 的完全发酵后, 取出面团压片并整型到面包模具中醒发 45 min。最终在烤箱中以上下火 210℃烘烤, 23 min 后取出并脱模。将面包于室温下静置 1 h 后进行下一步的实验分析。

(2) 面包比容与面包芯的质构特性的测定。采用油菜籽替换法^[20]测定面包的体积, 面包比容 ($\text{cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$) = 面包体积 (cm^3) / 面包质量 (g)。使用质构仪的 TPA 模式测定面包芯 (25 mm 的面包片) 的质构, 测试条件: P/36R 探头, 测前速度 $2 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$, 测试速度 $1 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$, 测后速度 $1 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$, 压缩率 50%, 触发力 5 g。测试结果主要包括: 硬度、弹性、咀嚼性和回复性^[11]。

(3) 面包的总酚含量与 DPPH 自由基清除率的测定。将去除面包皮的面包片冻干和磨碎, 过 80 目筛得到面包粉。1 g 面包粉或芹菜粉与 25 mL 的 80%甲醇溶液 (甲醇: 蒸馏水=8:2) 在水浴锅中 50℃提取 3 h, 再 3 200 g 离心 20 min, 得到的上清液即为提取液。将提取液存储在 -18℃冰箱中, 用

于面包的总酚含量和 DPPH 自由基清除率的测定。

参照 Sumczynski 等^[21]的方法测定面包的总酚含量, 结果以没食子酸当量(μg 没食子酸/ g 干物质)表示。参照 Das 等^[22]的方法测定面包的 DPPH 自由基清除率。

(4) 面包的感官评定。参照 GB/T 20981-2007 对面包感官的要求, 主要进行形态、色泽、气味、口感和组织 5 个指标的评分, 评分标准如表 1 所示。由 10 位受过专业培训的品评人员评分, 总分为各项评分之和。

表 1 芹菜面包的感官评分标准

Table 1 Sensory evaluation criteria for celery powder bread

指数(分数) Index(Score)	感官评分标准 Sensory evaluation criteria
形态 (20) Appearance	外观丰满, 表皮平滑 (16~20 分); 外观欠丰满, 表皮略有斑点 (10~15 分); 表皮粗糙, 有裂纹或塌陷 (0~9 分)
色泽 (20) Color	表皮色泽均匀, 呈黄褐色, 无焦糊 (16~20 分); 表皮色泽不均匀, 呈深褐色 (10~15 分); 表皮色泽暗淡或发白 (0~9 分)
气味 (20) Aroma	有浓郁的面包香味 (16~20 分); 有淡淡的芹菜味 (10~15 分); 芹菜味过浓或有异味 (0~9 分)
口感 (20) Taste	松软适口, 不粘牙 (16~20 分); 较松软, 稍粘牙 (10~15 分); 口感粗糙, 粘牙 (0~9 分)
组织 (20) Texture	内部气孔细密均匀, 无大孔洞 (16~20 分); 内部气孔不均匀, 有小硬块、大孔洞 (10~15 分); 气孔极不均匀, 大量孔洞和硬块 (0~9 分)

1.4 数据分析

所有实验分析至少重复 3 次。使用软件 SPSS 20.0 中单因素方差分析(ANOVA)对数据进行统计分析, 显著性水平为 $P < 0.05$ 。使用软件 Origin Pro 8.0 进行绘图处理。

2 结果与分析

2.1 小麦粉和芹菜粉的基本成分

由表 2 可知, 与小麦粉相比, 2 种芹菜粉均含

有较高的脂肪、灰分、蛋白质和膳食纤维。且 2 种芹菜粉之间也存在着显著差异, “文图拉”的蛋白质、脂肪和膳食纤维含量都高于“津南实芹”, 但灰分含量低于“津南实芹”。此外, 由于 2 种芹菜粉中总酚含量也较高, 芹菜粉可以被看作是具有生物活性的天然原料, 可以添加到小麦产品中。不同芹菜粉的化学成分含量的差异可能与品种不同有关, 表明将它们添加到小麦粉中对面团性质和面包品质的影响可能不同。

表 2 小麦粉和芹菜粉的基本成分

Table 2 Compositional characteristics of wheat flour and celery powder

指标 Parameter	小麦粉 Wheat flour	芹菜粉 Celery powder	
		“津南实芹” “Jinnan Shiqin”	“文图拉” “Ventura”
脂肪/ $\text{g} \cdot 100 \text{g}^{-1}$ (dm) Fat	0.99 ± 0.21^a	1.33 ± 0.09^b	1.62 ± 0.02^c
灰分/ $\text{g} \cdot 100 \text{g}^{-1}$ (dm) Ash	0.66 ± 0.13^a	12.46 ± 0.16^c	11.45 ± 0.02^b
粗蛋白/ $\text{g} \cdot 100 \text{g}^{-1}$ (dm) Crude protein	12.75 ± 0.05^a	12.97 ± 0.65^a	16.72 ± 0.04^b
总淀粉/ $\text{g} \cdot 100 \text{g}^{-1}$ (dm) Total starch	73.40 ± 0.12^c	8.68 ± 0.03^a	10.23 ± 0.01^b
总膳食纤维/ $\text{g} \cdot 100 \text{g}^{-1}$ (dm) TDF	3.60 ± 0.32^a	32.09 ± 0.49^b	36.82 ± 0.46^c
可溶性纤维/ $\text{g} \cdot 100 \text{g}^{-1}$ (dm) SDF	n.d.	20.58 ± 0.04^a	25.30 ± 0.43^b
不可溶性纤维/ $\text{g} \cdot 100 \text{g}^{-1}$ (dm) IDF	n.d.	11.51 ± 0.71^a	9.70 ± 1.36^a
总酚含量/ $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ (dm) TPC	787.1 ± 37.5^a	$3\ 678.0 \pm 72.3^c$	$2\ 908.4 \pm 20.7^b$

注: 同行数据中不同字母表示差异性显著 ($P < 0.05$)。dm 表示干物质重; n.d.表示未检测。

Note: Values with different letters in the same line are significantly different ($P < 0.05$). dm: dry matter; n.d.: not detected.

2.2 面团热机械学特性的测定结果

Mixolab 曲线分为两个阶段, 第一阶段主要分析面团的蛋白质特性, 表现为面团的吸水率、形成时间、稳定时间和弱化值 (C2)。由表 3 可知, 对于 2 种芹菜粉, 随着芹菜粉的增加, 面团的吸水率有略微的增加, 这可能归因于芹菜粉中的较高纤维

素含量 (表 2)。与蛋白质和淀粉相比, 纤维结构中存在大量羟基可通过氢键与水发生更大的相互作用, 从而增加了面团的吸水率^[23]。对于“津南实芹”, 面团形成时间随着芹菜粉量的增加而增加, 而添加“文图拉”没有导致面团形成时间的显著变化 ($P > 0.05$)。芹菜粉的添加对面团稳定时间的影响

在两个芹菜品种之间不同, 随着芹菜粉量的增加, 发现“津南实芹”在稳定时间上呈现上升的趋势, 而“文图拉”则有下降的趋势。有研究表明, 将非淀粉多糖添加到面粉中, 面团的形成时间和稳定时间的增加或减少取决于多糖自身的化学性质和吸水能力^[24]。由于 2 种芹菜粉中纤维、蛋白质和淀粉的含量和化学

结构(表 2)不同, 这可能对面团的形成与稳定时间产生不同的影响。添加 2 种芹菜粉都导致面团的 C2 值降低。在相同的添加水平下, 添加“文图拉”的面团显示出比“津南实芹”更低的 C2 值, 表明“文图拉”的添加对面团中面筋网络的形成可能具有更多的不利影响。

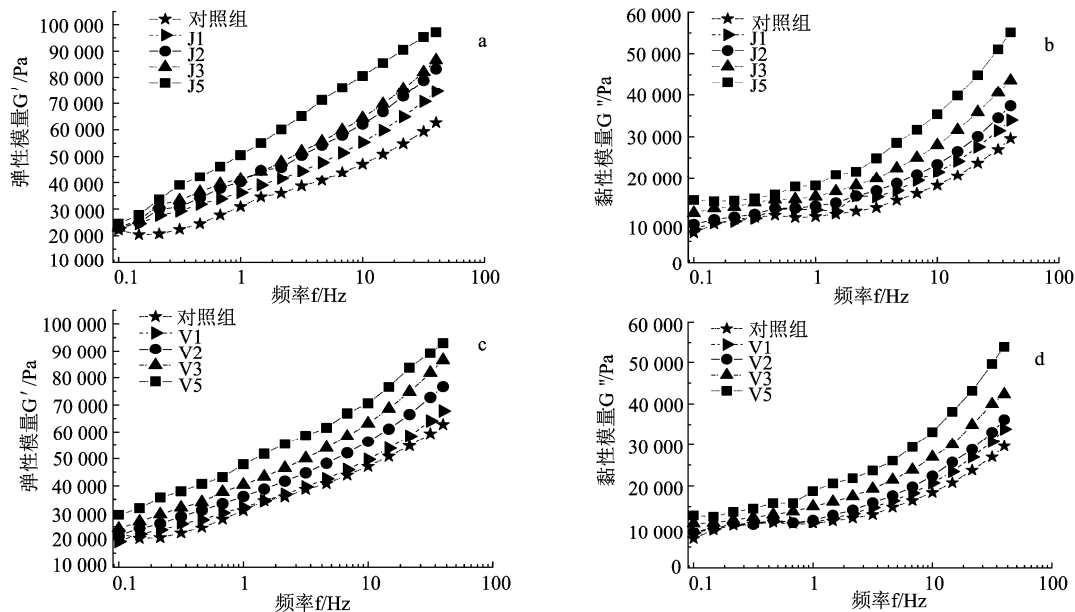
表 3 芹菜粉对小麦面团的热机械学特性的影响

Table 3 Effect of celery powder on thermo-mechanical properties of wheat dough

组别 Group	吸水率/% Water absorption	面团形成时间/min Development time	稳定时间/min Stability time	弱化值 C2/Nm Protein network weakening	最大黏度 C3/Nm Peak viscosity	回生值 C5-C4/Nm Starch crystallinity
对照 CK	61.9 ± 0.1 ^a	2.89 ± 0.35 ^{ab}	5.13 ± 0.21 ^d	0.42 ± 0.03 ^d	1.66 ± 0.01 ^c	0.90 ± 0.02 ^f
J1	62.3 ± 0.1 ^b	2.93 ± 0.21 ^{ab}	5.17 ± 0.19 ^d	0.40 ± 0.01 ^d	1.64 ± 0.02 ^{bc}	0.76 ± 0.01 ^d
J2	62.2 ± 0.0 ^b	3.04 ± 0.06 ^b	5.10 ± 0.31 ^d	0.39 ± 0.03 ^{cd}	1.62 ± 0.00 ^b	0.75 ± 0.01 ^{cd}
J3	62.3 ± 0.1 ^b	3.19 ± 0.13 ^c	5.90 ± 0.06 ^e	0.36 ± 0.03 ^{bc}	1.62 ± 0.04 ^b	0.67 ± 0.02 ^b
J5	62.5 ± 0.1 ^c	3.30 ± 0.26 ^c	6.02 ± 0.27 ^e	0.32 ± 0.02 ^b	1.56 ± 0.03 ^a	0.66 ± 0.02 ^b
V1	62.4 ± 0.1 ^{bc}	2.87 ± 0.25 ^{ab}	4.51 ± 0.27 ^c	0.41 ± 0.00 ^d	1.64 ± 0.04 ^{bc}	0.78 ± 0.01 ^e
V2	62.5 ± 0.1 ^c	2.75 ± 0.07 ^a	4.18 ± 0.13 ^b	0.36 ± 0.02 ^{bc}	1.60 ± 0.05 ^b	0.73 ± 0.01 ^c
V3	62.5 ± 0.0 ^c	2.81 ± 0.34 ^a	3.88 ± 0.06 ^a	0.34 ± 0.02 ^b	1.56 ± 0.07 ^a	0.64 ± 0.01 ^a
V5	62.6 ± 0.1 ^c	2.80 ± 0.19 ^a	3.46 ± 0.35 ^a	0.28 ± 0.03 ^a	1.53 ± 0.11 ^a	0.62 ± 0.01 ^a

注: 同列数据中不同字母表示差异性显著 ($P < 0.05$)。组别如 1.3.2 方法确定(下同)。

Note: Values with different letters in the same column are significantly different ($P < 0.05$). The group (the same below) is determined as the method in 1.3.2.



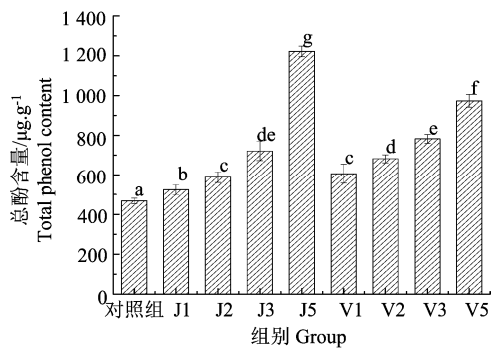
a 和 b 为“津南实芹”; c 和 d 为“文图拉”。a and b: “Jinnan Shiqin”; c and d: “Ventura”.

图 1 芹菜粉对面团动态流变特性的影响

Figure 1 Effect of celery powder on dynamic rheological properties of dough

Mixolab 曲线的第 2 阶段研究了在搅拌和加热下的淀粉糊化特性。对于 2 种芹菜而言, 芹菜粉的添加都降低了面团的 C3 值, 且随着芹菜粉量的增加, C3 值呈现下降的趋势, 这可能是由于与小麦粉相比, 芹菜粉中的淀粉含量较低(表 2)。此外, 芹菜粉中较高的纤维含量可与淀粉竞争吸水, 因此淀粉颗粒的膨胀在一定程度上会受到限制^[25]。随着芹

菜粉的增加, C5-C4 值降低, 说明淀粉冷却后回生程度降低。与普通面包相比, 添加芹菜粉有可能延缓面包中淀粉老化, 从而延长面包的保质期。该结果与 Ktenioudaki 等^[26]和 Khan 等^[27]报道的研究结果一致, 他们分别将苹果渣和菠菜粉加入到小麦粉中, 结果可显著抑制淀粉的回生。



不同字母表示差异性显著 ($P < 0.05$)。下同

Different letters means significantly different ($P < 0.05$).

The same below

图 2 芹菜粉对面包总酚含量的影响

Figure 2 Effect of celery powder on total phenol content of bread

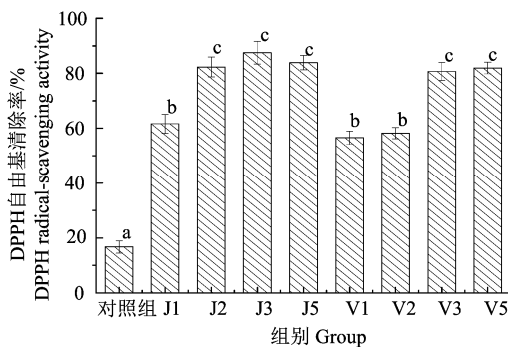


图 3 芹菜粉对面包 DPPH 自由基清除率的影响

Figure 3 Effect of celery powder on DPPH radical-scavenging activity of bread

2.3 面团动态流变结果

弹性模量 G' 即储能模量, 指样品在振动消除后所储存的变形能量, 是对样品弹性性能的测量。黏性模量 G'' 即损耗模量, 指样品在振荡过程中所损失的能量。样品由于能量损失而不能恢复到原来的形状, 这是黏性行为的标志。图 1 为芹菜粉与小麦粉混合粉的弹性模量 G' 和黏性模量 G'' 随频率变化的关系图, 可看出面团黏弹性的变化与频率相关, 芹菜粉的添加也使面团的黏弹性发生了改变。在频率范围内, 所有面团的 G' 与 G'' 值均随频率的增加而增加, 在频率为 40 Hz 时达到最高值, 且在对应的频率下的 G' 值始终大于 G'' 值, 表现为典型的弱凝胶动态流变学谱图^[28]。混合面团的 G' 与 G'' 均大于对照组, 表明添加芹菜粉的面团仍呈固态形式, 流动趋势相对较低, 该结果与 Balestra 等^[29]研究的生姜粉面团相似, 多酚分子通过疏水相互作用连接在蛋白质表面或与蛋白质分子相交联, 从而增强面筋网络结构。 G' 与 G'' 值均随频率的增加而增加, 可能是由于面团中缺少粘合剂 (面筋含量减少) 和淀粉颗粒

之间存在的排斥力。 G' 与 G'' 值随芹菜粉添加量的增加而增加的原因可能是添加芹菜粉的混合面团的吸水率的逐渐增加 (表 2), 芹菜粉中的纤维与小麦粉的淀粉、蛋白质相互交联, 混合体系结构内部的分子链间的缠结点增多, 从而加强了凝胶体系网络结构。在面包制作和食品加工中, 蛋白质、淀粉以及纤维素等大分子之间的交联决定了面团流变学性质的变化, 从而使面团变稠, 并影响体系的糊化和粘度。该结果与先前的将苹果渣^[26]和胡萝卜渣粉^[30]添加到小麦粉中的研究结果相一致。

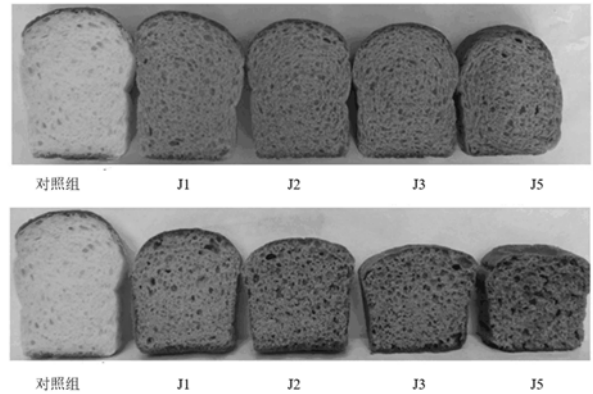


图 4 添加不同量芹菜粉的面包切片

Figure 4 Slices of the breads supplemented with different amounts of celery powder

2.4 面包的总酚含量与抗氧化性活性分析

小麦粉中天然存在着不同的抗氧化剂, 如类胡萝卜素、生育酚、木质素、黄酮类化合物、植物甾醇和酚酸等。这些抗氧化剂在烘烤后仍保持其大部分的抗氧化活性, 这对消费者的健康有潜在的好处。如图 2 所示, 当芹菜粉添加量从 1% 增加到 5% 时, 添加“津南实芹”的面包总酚含量从每克干物质 524.4 μg 没食子酸增加到 1 222.4 μg 没食子酸, 而添加“文图拉”的面包总酚含量从每克干物质 606.0 μg 没食子酸增加到 973.8 μg 没食子酸。Balestra 等^[29]研究 0~6% 的生姜粉面包的总酚含量, 结果发现相对于对照组, 4.5% 生姜粉面包的总酚含量提高了约 2 倍 [每克干物质含 (143~427) μg 没食子酸]。Borcak 等^[31]对小麦面包的研究发现, 在面包中添加野生水果 (接骨木、沙棘和山楂等) 可以提高小麦面包的总酚含量和抗氧化性能, 但面包生产过程中的工艺 (搅拌、发酵和烘烤) 可能也会降低面包的总酚含量和抗氧化活性^[23]。Gawlik-Dziki 等^[10]研究发现, 3% 洋葱皮的添加量显著提高了面包的抗氧化性能。本研究结果显示, 芹菜粉的添加量与面包的总酚含量之间存在较强的相关性, 其中“津南实

芹”, $R^2 = 0.989$, $P < 0.01$; “文图拉”, $R^2 = 0.954$, $P < 0.05$ 。说明在面包中添加芹菜粉是提高面包总酚含量的一种有效方法, 这与 Sęczyk 等^[32]研究的添加 1%~5% 亚麻籽壳面包的结果相类似, 其添加量与面包的总酚含量之间也有较强的相关性 ($R^2 = 0.955$)。添加芹菜粉在有效提高面包的总酚含量的同时, 也有可能增强其抗氧化能力和抑菌能力, 从而进一步延长面包的货架期。

DPPH 自由基清除率是评价抗氧化性的重要指标之一, 清除自由基能力与其对应的抗氧化性呈正相关。如图 3 所示, 与面包的总酚含量结果相似, 芹菜粉的添加显著提高了面包的 DPPH 自由基清除率 ($P < 0.05$), 与对照组面包相比, 1%~5% 的“津南实芹”和“文图拉”芹菜面包的 DPPH 自由基清除活性分别提高了 44.9%~67.2% 和 39.8%~65.3%, Das 等^[22]研究了香菜面包的抗氧化活性, 发现面包中总酚含量与其 DPPH 自由基清除率之间有良好的

相关性。本研究中所用芹菜与香菜都属于伞形科, 芹菜面包抗氧化活性的增加应主要归因于芹菜粉富含的酚类化合物。

2.5 面包的品质

图 4 是空白面包和芹菜面包的切片照片。芹菜粉面包的面包芯颜色比对照面包的颜色深, 这两种芹菜粉赋予面包独特的绿色色泽, 主要受芹菜中的叶绿素和其他色素的影响。Das 等^[22]研究的香菜面包也具有一定的绿色色泽, 且 3% 和 5% 香菜面包因其独特的浅绿色色泽更易被接受。与空白面包相比, 芹菜面包具有更加粗糙的碎屑颗粒结构, 且在相同的添加水平上, 添加“文图拉”的面包比“津南实芹”具有更粗糙的面包芯结构, 该结果与面团的 Mixolab 分析相一致 (表 3), 较弱的面团 (较低的稳定时间和 C2 值) 的延伸性和持气能力也相对较差, 烘烤后对面包的网路结构破坏也更加严重。

表 4 芹菜粉对面包品质的影响

Table 4 Effect of celery powder on the quality of bread

组别 Group	比容/ $\text{cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$ Specific volume	硬度/N Hardness	弹性 Springiness	咀嚼性/N Chewiness	回复性 Resilience	感官评分 Sensory score
对照 CK	3.54 ± 0.04^a	10.46 ± 0.44^a	0.92 ± 0.01^c	7.12 ± 0.51^a	0.42 ± 0.01^c	87.67 ± 5.32^a
J1	3.36 ± 0.04^b	12.43 ± 0.51^b	0.91 ± 0.01^c	8.59 ± 0.70^b	0.38 ± 0.02^b	88.33 ± 4.61^a
J2	3.32 ± 0.08^b	14.60 ± 0.20^c	0.89 ± 0.02^b	8.78 ± 0.58^b	0.37 ± 0.02^b	84.00 ± 4.92^{ab}
J3	3.19 ± 0.04^c	15.42 ± 0.69^d	0.87 ± 0.01^{ab}	10.32 ± 0.92^{cd}	0.37 ± 0.02^b	71.50 ± 5.70^b
J5	2.78 ± 0.05^d	17.63 ± 0.14^e	0.86 ± 0.01^a	11.53 ± 0.55^d	0.35 ± 0.02^a	57.00 ± 5.39^{bc}
V1	3.30 ± 0.01^b	11.64 ± 0.27^b	0.91 ± 0.01^c	7.50 ± 0.48^a	0.43 ± 0.03^c	68.66 ± 5.96^b
V2	3.15 ± 0.06^c	14.68 ± 1.63^{cd}	0.89 ± 0.02^b	9.92 ± 1.31^c	0.39 ± 0.03^b	53.50 ± 4.52^c
V3	3.10 ± 0.03^c	16.82 ± 0.56^d	0.88 ± 0.01^b	8.79 ± 0.94^{bc}	0.35 ± 0.02^a	45.17 ± 5.52^{cd}
V5	2.65 ± 0.05^e	22.99 ± 1.77^f	0.85 ± 0.02^a	13.30 ± 1.73^e	0.33 ± 0.03^a	40.67 ± 6.32^d

如表 4 所示, 芹菜粉面包的比容明显低于对照组 ($P < 0.05$), 且随着芹菜粉添加量的增加比容进一步降低。Świeca 等^[33]和 Ning 等^[11]的研究表明, 在面包中添加一定量的藜麦叶和绿茶粉后, 也呈现出相似的结果, 这可能是由于纤维削弱了面团的结构, 减少了 CO_2 气体的滞留, 同时纤维在面包制作过程中与蛋白质、淀粉等争夺水分, 淀粉-面筋网络的形成可用水量减少, 促使面筋网络发育不充分, 进而导致面包的体积减少。此外, 用芹菜粉代替部分的面粉可能破坏了面筋网络的同质性和连续性^[34]。相比较 2 种芹菜粉, 在相同的添加水平上, “津南实芹”面包比“文图拉”表现出较高的比容, 这一结果与“津南实芹”比“文图拉”面团具有较高的稳定性和 C2 值相吻合 (表 3)。

两种芹菜粉的添加都显著 ($P < 0.05$) 增加了面包芯的硬度, 可能因为与空白面包相比, 它们的比

容较低, 而面包的咀嚼性变化与硬度具有相同的趋势 (表 3), 相似地, Ning 等^[11]发现添加绿茶粉的面包的硬度和咀嚼性也有所增加。而芹菜粉的增加都显著 ($P < 0.05$) 降低了面包的弹性和回复性, 表明芹菜粉对面包的质地产生了不利影响。随着芹菜粉的添加量的增加, 就感官评分而言, 1% 和 2% “津南实芹”面包与对照面包没有产生显著的差异 ($P > 0.05$), 这与黄贤刚等^[12]研究的 2% 添加量的芹菜粉面包较易接受相类似。而 5% “文图拉”面包的总体可接受性评分最低, 因此最不能被消费者接受, 这与之前的质构和比容的结果相吻合。

3 结论

芹菜粉的添加对会显著影响面团流变学特性和面包的品质。面团吸水率、弹性模量 G' 和黏性模量 G'' 随芹菜粉添加量的增加而增加, 而弱化值 C2、峰

值黏度 C3 和回生值 C5-C4 都在降低。与对照组面包相比,添加芹菜粉使面包的比容减小,面包芯的硬度增大,但显著提高了面包的总酚含量和抗氧化活性。感官分析表明,“津南实芹”面包更易被人们接受,且 1%和 2%的“津南实芹”面包与对照面包无显著差异 ($P>0.05$)。此外,本研究还表明,在保证面包理想物理性能的前提下,选择合适的添加量和芹菜品种对获得健康面包具有重要意义。

参考文献:

- [1] ROSS J A, KASUM C M. Dietary flavonoids: bioavailability, metabolic effects, and safety[J]. *Annu Rev Nutr*, 2002, 22(1): 19-34.
- [2] LI M Y, HOU X L, WANG F, et al. Advances in the research of celery, an important *Apiaceae* vegetable crop[J]. *Crit Rev Biotechnol*, 2018, 38(2):172-183.
- [3] ATTA A H, ALKOFABI A. Anti-nociceptive and anti-inflammatory effects of some Jordanian medicinal plant extracts[J]. *J Ethnopharmacol*, 1998, 60(2):117-124.
- [4] SOWBHAGYA H B, SRINIVAS P, KRISHNAMURTHY N. Effect of enzymes on extraction of volatiles from celery seeds[J]. *Food Chem*, 2010, 120(1): 230-234.
- [5] KOOTI W, DARAEI N. A review of the antioxidant activity of celery (*Apium graveolens* L.)[J]. *J Evid Based Complementary Altern Med*, 2017, 22(4): 1029-1034.
- [6] 金晓玲, 程雁. 芹菜茎叶的营养成份比较分析[J]. *浙江师大学报(自然科学版)*, 1996, 19(1): 60-61.
- [7] 邢瑞雪. 面包制作工艺的探讨[J]. *食品工程*, 2007(1): 49-50.
- [8] RESHMI S K, SUDHA M L, SHASHIREKHA M N. Starch digestibility and predicted glycemic index in the bread fortified with pomelo (*Citrus maxima*) fruit segments[J]. *Food Chem*, 2017, 237: 957-965.
- [9] 段春影, 周宇佳, 方天宇, 等. 蔬菜面包的营养特性及研发现状[J]. *农业科技与装备*, 2017(8):47-48.
- [10] GAWLIK-DZIKI U, ŚWIECA M, DZIKI D, et al. Quality and antioxidant properties of breads enriched with dry onion (*Allium cepa* L.) skin[J]. *Food Chem*, 2013, 138(2/3): 1621-1628.
- [11] NING J M, HOU G G, SUN J, et al. Effect of green tea powder on the quality attributes and antioxidant activity of whole-wheat flour pan bread[J]. *LWT Food Sci Technol*, 2017, 79: 342-348.
- [12] 黄贤刚, 黄海, 倪雪朋. 芹菜粉面包的研制与开发[J]. *粮油食品科技*, 2006, 14(5): 39-40.
- [13] 中华人民共和国卫生部. GB 5009.4-2016 食品安全国家标准: 食品中灰分的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [14] 中华人民共和国卫生部. GB 5009.6-2016 食品安全国家标准: 食品中脂肪的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [15] 中华人民共和国卫生部. GB 5009.5-2016 食品安全国家标准: 食品中蛋白质的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [16] 中华人民共和国卫生部. GB 5009.9-2016 食品安全国家标准: 食品中淀粉的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [17] 中华人民共和国卫生部. GB 5009.88-2014 食品安全国家标准: 食品中膳食纤维的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2014.
- [18] 徐小云, 徐燕, 汪名春, 等. 麦麸超微粉碎对面团流变学特性与网络结构的影响[J]. *安徽农业大学学报*, 2018, 45(6): 977-982.
- [19] MOREIRA R, CHENLO F, TORRES M D, et al. Influence of the particle size on the rheological behaviour of chestnut flour doughs[J]. *J Food Eng*, 2010, 100(2): 270-277.
- [20] TECHNICAL A. Guidelines for measurement of volume by rapeseed displacement[M]//TECHNICAL A. AACC International Approved Methods. AACC International, 2009, DOI:10.1094/aaccintmethod-10-05.01.
- [21] SUMCZYNSKI D, BUBELOVA Z, SNEYD J, et al. Total phenolics, flavonoids, antioxidant activity, crude fibre and digestibility in non-traditional wheat flakes and muesli[J]. *Food Chem*, 2015, 174:319-325.
- [22] DAS L, RAYCHAUDHURI U, CHAKRABORTY R. Supplementation of common white bread by coriander leaf powder[J]. *Food Sci Biotechnol*, 2012, 21(2): 425-433.
- [23] ROSELL C M, SANTOS E, COLLAR C. Physical characterization of fiber-enriched bread doughs by dual mixing and temperature constraint using the Mixolab®[J]. *Eur Food Res Technol*, 2010, 231(4):535-544.
- [24] SAEED F, AHMAD N, NADEEM M T, et al. Effect of arabinoxylan on rheological attributes and bread quality of spring wheats [J]. *J Food Process Preserv*, 2016, 40(6): 1164-1170.
- [25] CHAREONTHAIKIJ P, UAN-ON T, PRINYAWIWATKUL W. Effects of pineapple pomace fibre on physicochemical properties of composite flour and dough, and consumer acceptance of fibre-enriched wheat bread[J]. *Int J Food Sci Technol*, 2016, 51(5):1120-1129.
- [26] Ktenioudaki A, O'Shea N, Gallagher E. Rheological properties of wheat dough supplemented with functional by-products of food processing: Brewer's spent grain and apple pomace[J]. *J Food Eng*, 2013, 116(2): 362-368.
- [27] KHAN M A, MAHESH C, SEMWAL A D, et al. Effect of spinach powder on physico-chemical, rheological, nutritional and sensory characteristics of chapati premixes[J]. *J Food Sci Technol*, 2015, 52(4): 2359-2365.
- [28] ZYDORCZYK M, BILIADERIS C G, BUSHUK W. Comparison of the structure and composition of water-soluble pentosans from different wheat varieties[J]. *Cereal Chem*, 1991, 68(2):139-144.
- [29] BALESTRA F, COCCI E, PINNAVAIA G, et al. Evaluation of antioxidant, rheological and sensorial properties of wheat flour dough and bread containing ginger powder[J]. *LWT- Food Sci Technol*, 2011, 44(3): 700-705.
- [30] AHMAD M, WANI T A, WANI S M, et al. Incorporation of carrot pomace powder in wheat flour: effect on flour, dough and cookie characteristics[J]. *J Food Sci Technol*, 2016, 53(10): 3715-3724.
- [31] BORCZAK B, SIKORA E, SIKORA M, et al. Nutritional properties of wholemeal wheat-flour bread with an addition of selected wild grown fruits[J]. *Starch-Stärke*, 2016, 68(7/8):675-682.
- [32] SĘCZYK Ł, ŚWIECA M, DZIKI D, et al. Antioxidant, nutritional and functional characteristics of wheat bread enriched with ground flaxseed hulls[J]. *Food Chem*, 2017, 214: 32-38.
- [33] ŚWIECA M, SĘCZYK Ł, GAWLIK-DZIKI U, et al. Bread enriched with quinoa leaves – The influence of protein-phenolics interactions on the nutritional and antioxidant quality [J]. *Food Chem*, 2014, 162: 54-62.
- [34] LAUKOVÁ M, KOHAJDOVÁ Z, KAROVIČOVÁ J, et al. Effects of cellulose fiber with different fiber length on rheological properties of wheat dough and quality of baked rolls[J]. *Food Sci Technol Int*, 2017, 23(6): 490-499.