

不同淀粉对饼干口感润滑质地的影响

林顺顺¹, 赵杰¹, 马兵团², 高红柳¹, 孙夫才³, 买倩芳⁴, 李梦琴^{1*}

(1. 河南农业大学食品科学技术学院, 郑州 450002; 2. 河南同昌实业有限公司, 郑州 450000; 3. 山东贝一食品工业有限公司, 临沂 276000; 4. 郑州市第二十四中学, 郑州 450000)

摘要: **目的** 探究不同植物源淀粉对饼干口感润滑质地的影响规律。**方法** 以不同植物源淀粉和面粉进行配比加入配料研制不同植物源淀粉饼干, 结合流变学、感官评价、摩擦学参数考察其对饼干质地、口腔润滑及感官属性的影响。**结果** 不同淀粉饼干的润滑性结果为: 马铃薯淀粉饼干>豌豆淀粉、红薯淀粉饼干>绿豆淀粉饼干, 其结果与感官差异分析结果一致。**结论** 淀粉作为润滑质地调节剂, 可以提高饼干产品口腔润滑性能, 同时该研究也为口腔摩擦学用于主观感官分析提供参考。

关键词: 淀粉; 润滑性; 感官评价; 摩擦系数

Effects of different starches on the lubricating texture of biscuits

LIN Shun-Shun¹, ZHAO Jie¹, MA Bing-Tuan², GAO Hong-Liu¹, SUN Fu-Cai³,
MAI Qian-Fang⁴, LI Meng-Qin^{1*}

(1. College of Food Science and Technology, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China;
2. Henan Tongchang Industrial Co., Ltd., Zhengzhou 450000, China; 3. Shandong Beiyi Food Industry Co., Ltd., Linyi 276000, China; 4. No.24 Middle School of Zhengzhou, Zhengzhou 450000, China)

ABSTRACT: Objective To explore the effects of different plant-derived starches on the lubricating texture of biscuits. **Methods** Different plant-derived starch biscuits were prepared by adding ingredients in different proportions of plant-derived starch and flour. Combined with rheology, sensory evaluation, and tribological parameters, their effects on biscuit texture, oral lubrication and sensory attributes were investigated. **Results** The lubricity results of different starch biscuits were: Potato starch biscuits>pea starch, sweet potato starch biscuits>mung bean starch biscuits, and the results were consistent with the results of sensory difference analysis. **Conclusion** As a lubricating texture modifier, starch can improve the oral lubricating properties of biscuit products. At the same time, this study also provides a reference for the subjective sensory analysis of oral tribology.

KEY WORDS: starch; lubricity; sensory evaluation; friction coefficient

0 引言

淀粉是食品中的重要组成部分, 与食品加工密切相关, 它影响食品的口感、质地等品质特性。淀粉凝胶以其吸水

分子和捕获脂肪的能力在生产中作为润滑剂使用, 对产品厚度、质地的感知至关重要^[1]。JAVIDI 等^[2]发现玉米淀粉纳米悬浮液具有良好的润滑性, 可作为降脂乳剂。YAKUBOV 等^[3]研究表明, 在不溶性淀粉颗粒和溶解性淀粉聚合物混合的条

基金项目: 国家自然科学基金项目(31901820)、河南省高等学校重点科研项目(20A550010)

Fund: Supported by the National Natural Science Foundation of China (31901820), and the Key Scientific Research Project of Henan Province (20A550010)

*通信作者: 李梦琴, 教授, 硕士生导师, 主要研究方向为粮油食品精深加工。E-mail: lmqfood@163.com

*Corresponding author: LI Meng-Qin, Professor, Henan Agricultural University, Henan 450002, China. E-mail: lmqfood@163.com

件下,溶解性直链淀粉可以改善粗糙基质间的润滑特性。

食物的质感是影响消费者对食品的偏爱、接受程度的属性之一,其中,对润滑度和乳脂感的感官感知通常是享乐性食物备受喜好的主要因素^[4]。饼干的粗糙口感、低享受性已经成为饼干行业发展的瓶颈,尤其是膳食纤维饼干、全麦饼干等。事实上,膳食纤维饼干、全麦饼干食品并未得到广泛推广和认可,其中很重要的原因是其享受性感知差,感知风味差,难以咽下。因此,饼干食品的享受性口感感知对其能否成功推广和认可至关重要。未来食品追求营养也追求美味,即我们需要食品在补充身体营养需求的同时,更要能够感受到口腔加工中的享乐刺激,这一问题不仅是饼干类休闲食品,也是未来食品必须面对的挑战。传统研究通常关注于淀粉在面团的调制过程中对面团筋度及流变特性的影响^[5-6]、饼干消化性^[7-8]和酥脆性^[9-10]等功能,忽视了饼干在口腔加工中的润滑特性。此外,不同植物源淀粉,其糊化后的淀粉性质具有显著差异。小麦淀粉糊化后黏度低且热稳定性好,凝胶强度高^[6]。马铃薯淀粉比玉米淀粉更易发生凝胶化^[11];绿豆淀粉较难糊化,易老化,凝沉性较好^[12-13]。豌豆淀粉直链淀粉含量较高,热黏度高,凝胶强度高^[14]。马铃薯淀粉质地细腻,易糊化;红薯淀粉色泽较黑,黏性较差^[15]。

食品口腔加工是一个复杂的动态过程,始于入口,终止于吞咽,主要有食物的运输、咀嚼、食团的形成和吞咽 4 个过程^[15-16]。对于饼干这类固体食品首先在口腔中舌头的处理和运输下,移动至牙齿间进行破碎,逐渐细化并与唾液润滑聚集形成可安全吞咽的食团;吞咽启动后,食团在舌头与上颚的压力作用下被运输到后咽部,经咽喉到食道,最后进入胃腔。食物在口腔中的润滑感受口腔加工过程中舌头、上颚、牙齿和唾液相互作用的影响^[17-19]。口腔的摩擦学行为构成了食物质地和口感感知相关的主导机制^[20-21]。众多研究印证了摩擦学数据可用于描述食物的质地^[22]。LI 等^[22]研究表明,增加牛奶的脂肪含量,其感官感知和仪器黏度增加,摩擦特性降低,并指出仪器检测可以来表征牛奶的感官润滑行为;NGUYEN 等^[23]建立了酸奶感官质地属性与摩擦学参数的相关性模型。以上研究表明,口腔摩擦学提供了一种评估模拟口腔表面与食物润滑行为之间相互作用的方法,促进了对食物结构和质地感知关系的理解^[24]。

本研究探究了 6 种淀粉对饼干口感润滑质地的影响,重点分析不同淀粉在面团流变特性和饼干色泽及感官润滑质地的差异,为调控饼干润滑质地,精准把控饼干质感,改善饼干品质奠定理论基础。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

马铃薯淀粉、红薯淀粉、玉米淀粉、绿豆淀粉、豌豆淀粉、小麦淀粉(新乡良润全谷物食品有限公司);人工唾液

(ISO/TR1027,中性,北京沃凯生物科技有限公司);黄油(上海枫未实业有限公司);绵白糖(南京甘汁园糖业有限公司)。

1.2 仪器与设备

TA.XTplus 物性分析仪(英国 SMS 公司);101A 烘箱(中国天津泰斯特仪器有限公司);YXD-Z 202 烤箱(广东乐创电器有限公司);道康宁 DC184 PDMS 模块胶(道康宁公司);TRB³ 球/销盘式摩擦磨损试验机[安东帕(上海)商贸有限公司]。

1.3 饼干制作

经预实验确定配方:混合粉(面粉与淀粉 1:1, $m:m$),辅料为混合粉总量的质量百分比($m:m$),分别为:黄油 10%,绵白糖 15%,水 37.5%,经辊轧成型,上下火 180°C 焙烤 10 min,冷却。

1.4 淀粉粒径的测定

采用激光粒度分析法^[25]测定样品粒径。

1.5 淀粉支/直链淀粉含量的测定

参照刘襄河等^[26]方法,用双波长法测定样品中直/支链淀粉含量,直链淀粉测定波长 $\lambda_1=632$ nm,参比波长 $\lambda_2=463$ nm,支链淀粉测定波长 $\lambda_3=560$ nm,参比波长 $\lambda_4=735$ nm。

1.6 饼干面团流变特性分析

参照前人研究方法^[27-29],动态流变学分析:进行频率扫描;测试条件:温度 25°C,应变 0.1%,扫描频率 0.1~20 Hz;静态流变学分析:取 10 g 混合粉加入 60%的水和面;剪切实验:剪切速率为 0.01~100 s⁻¹。

1.7 饼干的质构特性测定

用 TA.XTplus 物性分析仪进行测试,选取 P50 探头。质构仪的操作模式及参数设定为:TPA 模式;测试高度 25 mm;测试前速度 1.00 mm/s;测试速度 1.5 mm/s;测试后速度 1.5 mm/s;形变量 30%;触动力 5 g。

1.8 饼干的模拟口腔摩擦特性分析

为了模拟口腔加工过程^[20],将饼干与人工唾液按比例(2:1, $m:m$)放入机械搅拌器中,低速匀浆 15 s(速度 1 r/s),得到粒径小于 2~5 mm 的混合物。然后再加入人工唾液进行研磨混合(使最终样本中复合物与唾液质量比为 4:3),混合物静止 30 min 后备用。

参考 LIU 等^[30]的方法采用摩擦机进行摩擦实验,使用弹性体聚二甲基硅氧烷(polydimethylsiloxane, PDMS)作为半球销(直径为 6 mm)。PDMS 由 Sylgard184 硅弹性体试剂盒制备。在制备半球端 PDMS 摩擦副时,采用直径为 6 mm 的圆孔聚苯乙烯 96 孔细胞培养板为模板。将 Sylgard184 弹性体试剂盒的基材和固化剂按 10:1(质量比)的比例混合。

去除气泡后在温和真空下将混合物转移到模板中, 在 80°C 烘箱中培养 2 h, 然后用乙醇湿润细胞培养板, 取出 PDMS 半球销。将 PDMS 表面接触物在人工唾液中浸泡 2 h 以上, 形成黏液膜, 以模拟口腔环境。将以上制备的混合物样品均匀放置在 PDMS 表面进行测试, 测试条件: 频率 1 Hz; 载荷: 2 N; 循环: 60 个。

1.9 感官评价

参考感官评价相关文献资料^[31], 设计感官差异对照检验表(表 1), 以空白样品(未添加淀粉的饼干)为标准品由 32 名评定人员对添加不同植物源淀粉的饼干以感官差异对照检验评分表评分进行评定。

表 1 感官差异对照检验评分表
Table 1 Sensory difference comparison test score table

属性	描述	差异量化值
色泽	表面淡黄色、色泽均匀、有光泽	没有差异 0
		极小差异 1
嗅觉	饼干特有香味、无怪味	较小差异 2
		中等差异 3
结构	断面结构有层次、呈多孔状、无大裂痕	较大的差异 4
		差异大 5
口感	口感松脆细腻; 咀嚼后无粘稠感, 有润滑感	6
		很大的差异 7
整体差异	整体口感与对照品差异程度	8
		极大的差异 9

1.10 数据分析

采用 SPSS Statistics 20.0 软件做方差分析和显著性分析; 所有的结果都以平均值±标准偏差的形式报告, 每个实验结果至少重复 3 次; 采用 Origin 2021 软件进行作图; 采用 SIMCA-P 11 软件进行统计数据的回归分析、主成分分析(principal component analysis, PCA)及相关性分析。

2 结果与分析

2.1 不同来源淀粉粒径及直/支链淀粉比例分析

不同淀粉的粒径测定结果(表 2)显示, 马铃薯淀粉粒径最大, 其次为豌豆、绿豆、红薯、小麦和玉米淀粉, 且部分不同淀粉之间存在显著差异($P<0.05$)。该结果与郭神旺等^[25]测得的淀粉粒径: 马铃薯>绿豆>玉米, 以及何义萍^[32]对不同淀粉粒径: 马铃薯>小麦>玉米的分析结果一致。

直支链淀粉含量会影响成品的摩擦系数。表 2 中不同淀粉直/支链淀粉比例分析结果显示: 豆类淀粉中直链淀粉比例显著高于薯类(马铃薯和红薯淀粉)和谷物类(小麦和玉米淀粉)淀粉, 该结果与郭神旺等^[25]研究一致, 不同淀粉直链淀粉比例具体差异表现为绿豆>豌豆>红薯>小麦, 马铃薯>玉米($P<0.05$), 小麦、玉米、马铃薯淀粉中支链淀粉比例显著高于红薯、绿豆、豌豆淀粉($P<0.05$)。

表 2 淀粉颗粒的粒径分布及直链淀粉/支链淀粉比例($n=3$)
Table 2 Particle size distribution and amylose/amylopectin content of starch granules ($n=3$)

样品	粒径/ μm	直链淀粉/%	支链淀粉/%
小麦淀粉	18.62±1.45 ^c	23.93±2.34 ^d	60.28±3.75 ^a
玉米淀粉	15.92±1.24 ^{cd}	20.74±0.39 ^e	61.23±5.07 ^a
绿豆淀粉	20.42±1.59 ^c	54.38±0.16 ^a	14.53±2.73 ^c
豌豆淀粉	27.18±2.13 ^b	48.97±0.34 ^b	18.57±0.27 ^c
马铃薯淀粉	65.30±4.08 ^a	22.79±0.40 ^d	61.20±1.80 ^a
红薯淀粉	19.31±1.51 ^c	32.71±0.35 ^c	43.33±1.77 ^b

注: 同列数值有不同上标字母表示存在显著性差异($P<0.05$), 下同。

2.2 不同淀粉对饼干面团流变学特性的影响

2.2.1 不同淀粉对面团黏弹性的差异分析

采用动态流变仪小振幅振荡分析不同植物源淀粉对面团的黏弹性影响, G' 表示混合饼干面团的储能模量(弹性模量), 即能量储存且可恢复的弹性特征; G'' 表示混合饼干面团的损耗模量(黏性模量), 即能量消耗的黏性特征; 损耗角正切 $\tan\delta$ 是指 G'' 与 G' 比值, $\tan\delta$ 越小, 说明混合饼干面团的弹性比例相对越大, 体系中分子交联程度越高, 聚合度越大, 流动性弱, 反之黏性较大。6 种不同植物源淀粉面团和空白面粉面团, 经过流变仪频率扫描所得结果如图 1, G' 表示在 0~1 Hz 范围, 面团的 G' 和 G'' 急剧上升, 随频率增加而增加, 图 1 中的 $\tan\delta$ 表明 G' 的值均高于 G'' , 表明面团的弹性特性要优于其黏性特性, 这是一种类固态行为。绿豆、小麦、玉米淀粉的添加可以一定程度上增强面团中淀粉分子之间发生交联, 形成稳定的凝胶网络结构。

2.2.2 不同淀粉对面团表观黏度的差异分析

由图 2 可知, 大致趋势上, 淀粉面团的表观黏度随剪切速率的增大而减小, 表明该面团体系呈现典型的“剪切稀化”现象^[28]。图 2 前段出现的部分样品小范围随剪切速率增加而表观黏度增加的现象, 可能是由于样品本身的表面张力影响导致, 这可能与其它食品成分对样品表观黏度产生类似的影响原因一致。

2.3 不同淀粉对饼干品质的影响分析

2.3.1 不同淀粉饼干质构特性的差异分析

对饼干质构性能差异分析的结果显示(表 3), 添加淀粉后, 饼干的硬度、酥脆性、咀嚼性显著低于空白饼干($P<0.05$), 且不同淀粉饼干间也存在显著性差异($P<0.05$)。

为了更全面分析饼干质构品质的差异性, 本研究利用 SIMCA-P 11 软件对数据进行回归分析并进行主成分分析, 以质构指标添加作为 PC1 轴, 饼干的淀粉添加作为 PC2 轴, 分析中对各指标数值进行标准化处理, 即消除了指标间数值差异, 最重要的是样品间距离的大小可直观反映其差异。空白及 6 种淀粉饼干的质构分析结果(图 3)

显示, 两种主成分累计方差贡献率为 98%, 说明两种主成分已经包含了大量信息能够反映样品的整体差异特征, 因此, 这里建立了 PC1-PC2 的二维判别图用于分析样品信息。

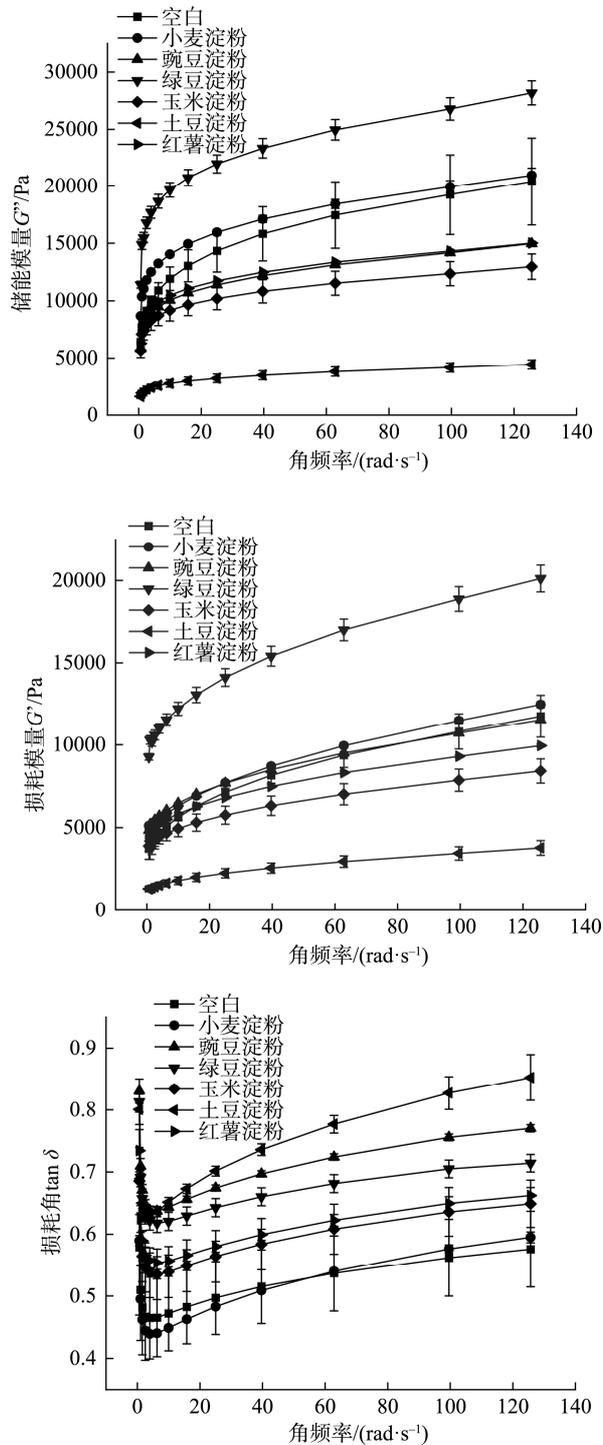


图 1 不同淀粉对饼干面团动态流变模量 G' 、 G'' 和损耗角正切的影响

Fig.1 Effects of different starches on the dynamic rheological modulus G' , G'' and loss tangent of biscuit dough

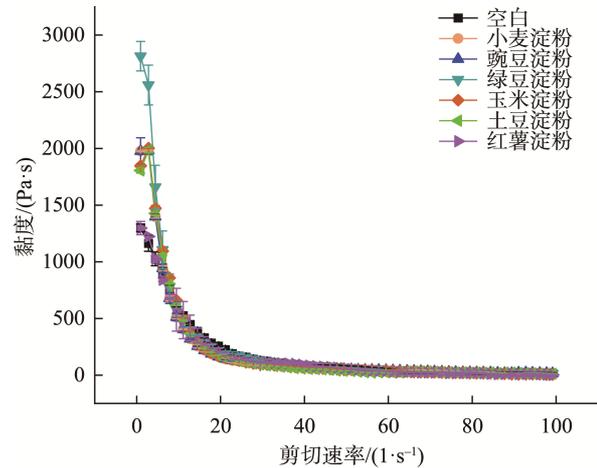


图 2 不同淀粉对饼干面团表观黏度的影响

Fig.2 Effects of different starches on the apparent viscosity of biscuit dough

表 3 不同淀粉饼干质构参数方差分析结果($n=3$)

Table 3 Analysis of variance results of texture parameters of different starch biscuits ($n=3$)

饼干名称	硬度/g	酥脆性/g	咀嚼性
空白	20640.63±2594.68 ^a	10539.60±2701.19 ^a	6009.94±1514.00 ^a
小麦	16242.20±1985.28 ^b	3175.68±1873.96 ^b	3527.58±682.47 ^b
玉米	5059.12±1638.31 ^d	2860.86±1795.17 ^b	968.67±456.39 ^d
绿豆	12240.89±1476.42 ^c	1738.15±1299.47 ^b	2046.67±426.50 ^c
豌豆	5401.58±800.55 ^d	4172.95±1690.67 ^b	815.52±277.92 ^d
马铃薯	18142.84±804.08 ^b	4592.94±4021.60 ^b	4480.40±943.88 ^b
红薯	12803.52±1134.11 ^c	4021.05±2053.69 ^b	2415.16±671.82 ^c

由图 3 可知, 第一主成分为主要解释变量(75%), 因此主要沿 PC1 轴分析。分析发现, 沿 PC1 轴方向, 添加不同淀粉的饼干可分成 4 组, 其中玉米和豌豆淀粉饼干样品位于图的左侧, 绿豆、红薯和小麦淀粉饼干位于轴中心处, 马铃薯淀粉饼干位于轴右侧, 空白样品位于轴的最右侧, 说明添加淀粉的饼干与空白饼干的质构特性存在显著差异, 玉米和豌豆淀粉饼干的硬度、酥脆性和咀嚼性与空白饼干差别最大, 不同品种淀粉饼干之间也存在显著差异。

2.3.2 不同淀粉饼干的感官差异对照检验

鉴于感官评价的主观性和复杂性, 为了降低感官评价难度, 提高评价结果的准确性, 研究中感官分析采用感官差异对照检验进行分析, 感官评价员只评价出实验样与对照样二者间的感官差异。因此, 感官分值代表淀粉样品与对照样品的差异度。感官评分的方差分析结果见表 4。

表 4 表明评价员之间存在显著差异, 通过方差分析将其本身对评定结果的影响剔除, 因而不会影响其对产品的评价结果。此外, 由于样品 $F_B=20.69 > F_{0.01(5,14)}=4.69$, 差异达到极显著水平, 表明样品间有极显著差异, 需进一步作多重比较, 其结果见表 5。

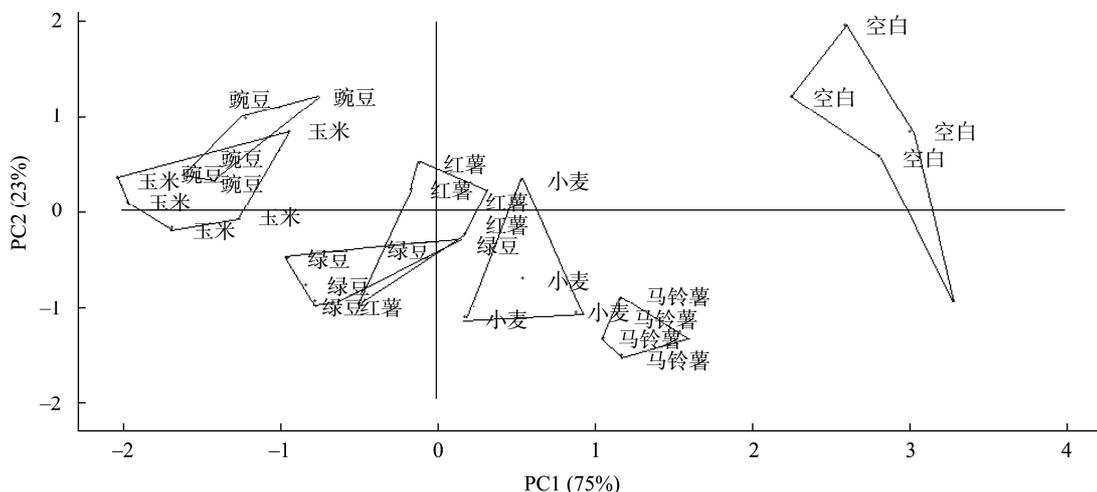


图 3 添加不同淀粉饼干的质构特性 PCA 分析

Fig.3 PCA analysis of texture properties of biscuits with different starch additions

表 4 差异对照检验结果方差分析(n=3)

Table 4 Analysis of variance of difference control test results (n=3)

方差来源	平方和 SS	自由度 df	均方 MS	F	显著性
评价员间 A	152.99	22	6.95	4.49	0.001
样品间 B	135.32	5	27.06	20.69	0.000
误差 e	-105.91	14			
总和	182.40	41			

注: $F_{0.05(5,14)}=2.96$, $F_{0.01(5,14)}=4.69$, $F_{0.05(22,14)}=2.37$, $F_{0.01(22,14)}=3.47$ 。

表 5 不同淀粉饼干感官评定方差分析结果(n=3)

Table 5 Results of variance analysis of sensory evaluation of different starch biscuits (n=3)

淀粉饼干名称	色泽	嗅觉	结构	口感	整体差异
小麦	2.67±1.00 ^{bc}	1.56±0.73 ^b	3.11±0.60 ^{ab}	3.22±1.09 ^{bc}	3.56±1.01 ^c
玉米	1.29±0.49 ^d	1.43±0.53 ^b	1.29±0.49 ^c	2.29±1.11 ^c	2.14±1.07 ^d
绿豆	2.13±0.35 ^{cd}	1.50±0.53 ^b	2.63±0.74 ^b	3.75±1.04 ^b	3.38±1.30 ^{cd}
豌豆	3.29±0.76 ^{ab}	2.00±0.58 ^b	4.00±1.15 ^a	5.86±1.07 ^a	7.00±0.82 ^a
马铃薯	3.17±0.98 ^{ab}	2.83±0.41 ^a	2.83±1.17 ^b	4.50±1.38 ^b	5.67±1.03 ^b
红薯	4.00±1.58 ^a	1.80±0.84 ^b	3.00±0.71 ^b	5.80±1.10 ^a	6.80±1.64 ^{ab}

表 5 中, 感官属性数值代表其淀粉饼干与空白饼干的差异度, 值越大, 表明其与空白间的差异度越大。由表 5 可以看出, 豌豆、红薯和马铃薯淀粉饼干与空白的差异度较大, 说明添加此 3 种淀粉对饼干的色泽、嗅觉、结构、口感及整体感觉影响较大; 同样地, 添加玉米淀粉对饼干的色泽、嗅觉、结构及口感的影响均较小。

2.4 不同淀粉饼干口腔摩擦特性分析

饼干的润滑特性可以通过用其口腔摩擦系数进行分析, 摩擦系数越小, 表明其口腔润滑特性越好。对 6 种饼干的口腔摩擦分析(图 4)显示, 随着摩擦时间的增加, 6 种饼干的摩擦系数在 5 s 内均迅速趋于稳定, 说明饼干的润

滑性能均比较稳定; 发现, 除玉米饼干的摩擦系数高于空白样外, 其余 5 种饼干的摩擦系数均低于空白样, 且绿豆、红薯、豌豆、马铃薯饼干的摩擦系数与空白存在显著性差异($P<0.05$), 说明添加绿豆、红薯、豌豆、马铃薯淀粉均可显著提升饼干的口感润滑特性, 以马铃薯淀粉对饼干口感润滑性能的提升能力最大, 其次是豌豆淀粉、红薯淀粉, 再次是绿豆淀粉, 此结果与 2.3 部分感官分析结果一致, 即豌豆、红薯和马铃薯淀粉饼干与空白的差异度较大。综合以上结果认为, 淀粉作为润滑质地调节剂, 可以用于饼干体系口腔润滑性能的调节; 口腔摩擦系数可以作为主观感官分析的客观参考。

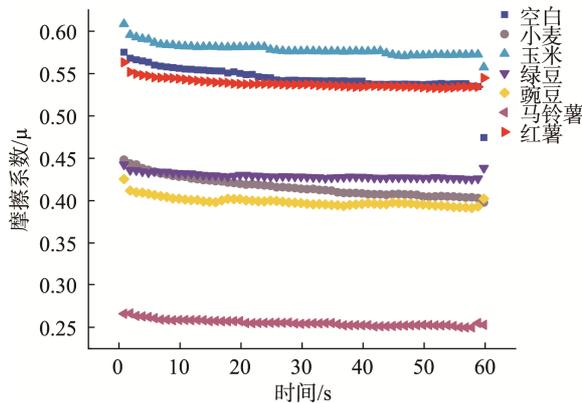
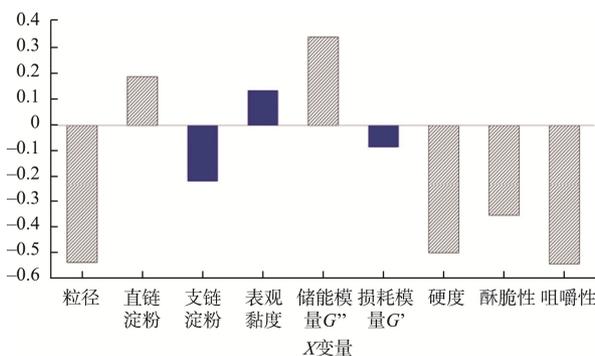


图 4 不同淀粉饼干的摩擦系数分析

Fig.4 Friction coefficient analysis of different starch biscuits

2.5 饼干口感润滑性的关键影响因素分析

为了进一步分析不同淀粉对饼干口感润滑性的影响,采用 SIMCA-P 11 软件分析了淀粉粒径、直/支链比例、面团流变参数(表观黏度、损耗模量 G'' 、储能模量 G'),以及饼干质构参数对饼干口感润滑性(摩擦系数)的贡献性,分析结果如图 5 所示。



注: 图中斜纹表明该指标对饼干口感润滑性具有显著影响。

图 5 影响饼干润滑性的关键因素分析

Fig.5 Analysis of key factors affecting the lubricity of biscuits

图 5 结果表明,直链淀粉比例与饼干摩擦系数呈显著正相关($P<0.05$),说明在饼干配方中,在相同淀粉比例的情况下,淀粉中直链淀粉的比例越高,饼干口感表现粗糙度越强,即代表口腔润滑性越差。这可能与直链淀粉的低吸水率和吸油率有关^[33],食物本身水分及油脂含量是影响其润滑口感的重要因素。面团的损耗模量 G'' 表现对饼干口腔摩擦系数具有负的显著贡献性,分析这应该是与面团中直链淀粉比例有关,直链淀粉比例越高,面团能量消弭的黏性特征越弱^[34]。饼干的硬度、酥脆性、咀嚼性对饼干口腔摩擦系数呈显著负相关性($P<0.05$),说明饼干的硬度越大、酥脆性和咀嚼性越强,饼干的口腔摩擦性越小,即口腔润滑性越强。分析与摩擦过程中的“球轴承”机制有关,LIU 等^[35]研究证明在液体和半固体模型食品中的润滑性能源于滚珠轴承机制;KROPA 等^[36]研究也表明凝胶滤液润

滑性降低是由于凝胶珠“球轴承”能力的缺失。饼干的硬度越大、酥脆性和咀嚼性越强,越有利于在口腔咀嚼过程中增强凝胶珠“球轴承”能力,从而提升口感润滑性能。

3 结论

经添加淀粉后,饼干的硬度、酥脆性和咀嚼性显著低于空白饼干($P<0.05$);且不同淀粉饼干间色泽和质构参数也存在显著性差异($P<0.05$)。感官差异检验分析显示,不同淀粉饼干感官差异度存在显著差异,具体为:玉米淀粉饼干>绿豆淀粉、小麦淀粉饼干>马铃薯淀粉饼干>红薯淀粉、豌豆淀粉饼干。其中,豌豆淀粉饼干和红薯淀粉饼干的感官评价结果相近。

动态流变学分析显示小麦、玉米、绿豆淀粉能增强面筋蛋白网络结构,使得面团质地变硬,能抵抗一定的机械破坏力,稳定性提高。口腔摩擦学结果显示,添加淀粉后饼干的润滑特性得到提升,且绿豆、红薯、豌豆、马铃薯淀粉对饼干润滑度的提升具有显著作用。不同淀粉饼干体系的润滑性能比较结果为:马铃薯淀粉饼干>豌豆、红薯淀粉饼干>绿豆淀粉饼干,其结果与感官分析结果一致。

相关性分析结果说明,饼干配方中,在相同淀粉比例的情况下,淀粉中直链淀粉的比例越高,饼干口感表现粗糙度越强,即代表口腔润滑性越差。饼干的硬度越大、酥脆性和咀嚼性越强,越有利于在口腔咀嚼过程中增强凝胶珠“球轴承”能力,从而提升口感润滑性能。

综合分析认为,淀粉作为润滑质地调节剂,可以用于饼干体系口腔润滑性能的调节;该研究印证了口腔摩擦系数可以用于主观感官分析的客观参考。

参考文献

- [1] 张丹. 马铃薯-小麦混合粉面团品质改良及其酥性饼干的研制[D]. 哈尔滨: 哈尔滨商业大学, 2017.
ZHANG D. Quality improvement of potato-wheat mixed flour dough and development of crisp biscuit [D]. Harbin: Harbin University of Commerce, 2017.
- [2] JAVIDI F, RAZAVI SMA, MOHAMMAD AA, *et al.* Cornstarch nanocrystals as a potential fat replacer in reduced fat O/W emulsions: A rheological and physical study [J]. *Food Hydrocolloid*, 2019, 90: 172–181.
- [3] YAKUBOV GE, ZHONG L, LI M, *et al.* Lubrication of starch in ionic liquid-water mixtures: Soluble carbohydrate polymers form a boundary film on hydrophobic surfaces [J]. *Carbohydrate Polymers*, 2015, 133: 507–516.
- [4] 李立, 张晓琴, 张昀, 等. 食品口腔摩擦学研究进展[J]. *摩擦学学报*, 2019, 39(1): 118–129.
LI L, ZHANG XQ, ZHANG Y, *et al.* Progress in tribology of food [J]. *Tribology*, 2019, 39(1): 118–129.
- [5] WANG JY, JIANG XF, GUO ZB, *et al.* Long-term retrogradation behavior of lotus seed starch-chlorogenic acid mixtures after microwave treatment [J]. *Food Hydrocolloid*, 2021, 121: 106994.
- [6] ZHENG L, LIU J, LIU R, *et al.* 3D printing performance of gels from wheat starch, flour and whole meal [J]. *Food Chem*, 2021, (356): 1–9.
- [7] WANG X, LAO X, BAO Y, *et al.* Effect of whole quinoa flour substitution on the texture and *in vitro* starch digestibility of wheat bread [J]. *Food Hydrocolloid*, 2021, (119): 1–9.
- [8] RAZA H, AMEER K, REN XF, *et al.* Physicochemical properties and

- digestion mechanism of starch-linoleic acid complex induced by multi-frequency power ultrasound [J]. *Food Chem*, 2021, 364: 130392.
- [9] WU YY, JIANG XC, MA JY, *et al.* Low-pressure UV-initiated synthesis of cationic starch-based flocculant with high flocculation performance [J]. *Carbohydr Polym*, 2021, 273: 118379.
- [10] CHEN WK, CHAO C, YU JL, *et al.* Effect of protein-fatty acid interactions on the formation of starch-lipid-protein complexes [J]. *Food Chem*, 2021, 364: 130390.
- [11] ZHANG JS, RAN C, JIANG XF, *et al.* Impact of octenyl succinic anhydride (OSA) esterification on microstructure and physicochemical properties of sorghum starch [J]. *Food Sci Technol*, 2021, (8): 112320.
- [12] HAN LH, QIU S, CAO SP, *et al.* Molecular characteristics and physicochemical properties of very small granule starch isolated from *Agriophyllum squarrosum* seeds [J]. *Carbohydr Polym*, 2021, 273: 118583.
- [13] RDH B, SHR A, RAC A, *et al.* Heterologous production of cellulose- and starch-degrading hydrolases to expand *Saccharomyces cerevisiae* substrate utilization: Lessons learnt [J]. *Biotechnol Adv*, 2021, 53: 107859.
- [14] 甘爱园, 鞠银强, 刘松继. 蛋清蛋白对豌豆淀粉凝胶化及凝胶特性的影响[J]. *中国粮油学报*, 2021, 36(1): 68-73.
GAN AIY, HUO YQ, LIU SJ, *et al.* Effects of egg white protein on gelation and gelation properties of pea starch [J]. *J Cere Oils Ass*, 2021, 36(1): 68-73.
- [15] LUCAS PW, PRINZ JF, AGRAWAL KR, *et al.* Food physics and oral physiology [J]. *Food Qual Prefer*, 2002, 13(4): 203-213.
- [16] HIIEMAE K. Mechanisms of food reduction, transport and deglutition: How the texture of food affects feeding behavior [J]. *J Texture Stud*, 2004, 35(2): 171-200.
- [17] ZAINAL NA, ZULKIFLI NWM, GULZAR M, *et al.* A review on the chemistry, production, and technological potential of bio-based lubricants [J]. *Renew Sust Energ Rev*, 2018, 82: 80-102.
- [18] NINGTAYS DW, BHANDARI B, BANSAL N, *et al.* Texture and lubrication properties of functional cream cheese: Effect of beta-glucan and phytosterol [J]. *J Texture Stud*, 2018, 49(1): 11-22.
- [19] EMMA MK, MARION MH, HOLMES M, *et al.* On relating rheology and oral tribology to sensory properties in hydrogels [J]. *Food Hydrocolloid*, 2019, 88: 101-113.
- [20] WANG X, CHEN J. Food oral processing: Recent developments and challenges [J]. *Curr Opin Colloid Interf Sci*, 2017, 28: 22-30.
- [21] FOSBERG H, JOYNER HS. The impact of NaCl replacement with KCl and CaCl₂ on cottage cheese cream dressing rheological behavior and consumer acceptance [J]. *Int Dairy J*, 2018, 78: 73-84.
- [22] LI Y, JOYNER HS, CARTER BG. Effects of fat content, pasteurization method, homogenization pressure, and storage time on the mechanical and sensory properties of bovine milk [J]. *J Dairy Sci*, 2018, 101(4): 2941-2955.
- [23] NGUYEN PTM, KRAVCHUK O, BHANDARI B, *et al.* Effect of different hydrocolloids on texture, rheology, tribology and sensory perception of texture and mouthfeel of low-fat pot-set yoghurt [J]. *Food Hydrocolloid*, 2017, 72: 90-104.
- [24] 陈建设, 王鑫森. 食品口腔加工研究的发展与展望[J]. *中国食品学报*, 2018, 18(9): 1-7.
CHEN JS, WANG XM. Development and prospect of food oral processing research [J]. *J Chin Inst Food Sci Technol*, 2018, 18(9): 1-7.
- [25] 郭神旺, 单玉琳. 甘肃主要杂豆淀粉理化特性分析[J]. *食品科学*, 2012, 23(25): 127-132.
GUO SW, SHAN YL. Analysis on physicochemical properties of starch of main soybean in Gansu [J]. *Food Sci*, 2012, 23(25): 127-132.
- [26] 刘襄河, 郑丽璇, 郑丽勉. 双波长法测定常用淀粉原料中直链淀粉、支链淀粉及总淀粉含量[J]. *广东农业科学*, 2013, 40(18): 97-100.
LIU XH, ZHENG LX, ZHENG LM. Determination of amylose and amylopectin in the commonly used starch materials by dual-wavelength spectrophotometry [J]. *Guangdong Agric Sci*, 2013, 40(18): 97-100.
- [27] 韩冰霜, 安俊晓, 杜先锋. 紫甘薯全粉对面团流变特性与曲奇饼干品质的影响[J]. *食品研究与开发*, 2021, 41(19): 58-63.
HAN BS, AN JX, DU XF, *et al.* Effects of purple sweet potato powder on dough rheological properties and cookie quality [J]. *Food Res Dev*, 2021, 41(19): 58-63.
- [28] ZHANG M, LI J, CHANG C, *et al.* Effect of egg yolk on the textural, rheology and structural properties of egg gels [J]. *J Food Eng*, 2019, 246: 1-6.
- [29] ALVES Z, ABREU B, FERREIRA NM, *et al.* Enhancing the dispersibility of multiwalled carbon nanotubes within starch-based films by the use of ionic surfactants [J]. *Carbohydr Polym*, 2021, 273: 118531.
- [30] LIU X, GUO J, WAN ZL, *et al.* Wheat gluten-stabilized high internal phase emulsions as mayonnaise replacers [J]. *Food Hydrocolloid*, 2018, 77: 168-175.
- [31] 王永华, 吴青. 食品感官评定[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2019.
WANG YH, WU Q. *Food sensory assessment* [M]. Beijing: China Light Industry Press, 2019.
- [32] 何义萍. 燕麦淀粉分离工艺及特性研究[D]. 郑州: 河南工业大学, 2012.
HE YP. *Study on separation technology and properties of oat starch* [D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2012.
- [33] 李冬梅, 王洪露, 龚瑶, 等. 糜子直链淀粉、蛋白质含量对其外观品质及食味品质的影响[J/OL]. *食品科学*: 1-12. [2022-08-16]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20220613.1556.161.html>
LI DM, WANG HL, GONG Y, *et al.* Effects of amylose and protein content on appearance and eating quality of proso millet [J/OL]. *Food Sci*: 1-12. [2022-08-16]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20220613.1556.161.html>
- [34] 郭晓丹. 小麦粉吸水速率与其组分的关系及对面团品质的影响[D]. 郑州: 河南工业大学, 2021.
GUO XD. Relationship between water absorption speed and wheat flour composition and its C effect on dough quality [D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2021.
- [35] LIU K, TIAN Y, STIEGER M, *et al.* Evidence for ball-bearing mechanism of microparticulated whey protein as fat replacer in liquid and semi-solid multi-component model foods [J]. *Food Hydrocolloid*, 2016, 52: 403-414.
- [36] KROPA EM, HETHERINGYONB MM, HOLMESA M, *et al.* On relating rheology and oral tribology to sensory properties in hydrogels [J]. *Food Hydrocolloid*, 2019, 88: 101-113.

(责任编辑: 张晓寒 郑 丽)

作者简介



林顺顺, 博士, 讲师, 主要研究方向为农产品加工与配料方向。

E-mail: linshunshun103@163.com



李梦琴, 教授, 硕士生导师, 主要研究方向为粮油食品精深加工。

E-mail: lmqfood@163.com