

不同来源淀粉模拟面团特性的研究

Study on the characteristics of simulated dough of starch from different sources

卢丹妮 张 晖

LU Dan-ni ZHANG Hui

(江南大学食品学院, 江苏 无锡 214122)

(College of Food Science and Engineering, Jiangnan University, Wuxi, Jiangsu 214122, China)

摘要:为研究不同淀粉对面团的影响,将几种不同来源的淀粉与谷朊粉混合模拟成面团,通过对混合粉糊化特性、流变特性、模拟面团水分分布、微观结构以及所制备馒头的品质特性等进行分析,探究淀粉种类差异对面团特性的影响。结果表明,模拟面团体系糊化温度均有所下降,薯类淀粉和豆类淀粉模拟体系糊化黏度较高,豌豆淀粉模拟面团体系糊凝胶硬度和咀嚼性较大;几种淀粉模拟面团的储能模量(G')和损耗模量(G'')均大于普通面团,模拟面团体系中面筋网络都未能很好形成。模拟面团制成的馒头比容均小于普通馒头,硬度、弹性、黏聚性、咀嚼性和回复性均大于普通馒头。综上,除小麦淀粉外,马铃薯淀粉模拟面团制成的馒头更接近于普通馒头,感官品质方面略不及其他模拟体系,而木薯淀粉和豆类淀粉模拟面团和馒头的品质都较差。

关键词:淀粉;模拟面团;特性;馒头;品质

Abstract: In order to study the effect of different starch on dough, several different kinds of starch and gluten were mixed to form simulated dough. The characteristics of mixed powder gelatinization, rheological properties, simulated dough moisture distribution, microstructure and quality characteristics of prepared bread were analyzed, so as to explore the effect of different types of starch on dough. The results showed that the gelatinization temperature of simulated dough system decreased, the gelatinization viscosity of potato starch and legume starch was higher, and the hardness and chewiness of pea starch simulated dough system were higher. The storage modulus (G') and loss modulus (G'') of several kinds of starch simulated dough were all larger than that of ordinary dough, and the gluten network in the simulated dough system was not well formed. The hardness, elasticity, tackiness, chewiness and recoverability of the bread were greater than those of ordinary bread. The

hardness, elasticity, cohesion, chewiness and recoverability of the bread were all higher than those of ordinary bread. In summary, in addition to wheat starch, the bread made of the potato starch simulated dough is closer to the ordinary bread, the sensory quality of the quality of slightly less than other simulation system, and tapioca starch and bean starch simulation dough and bread quality are poor.

Keywords: starch; simulated dough; characteristics; bread; quality

当今时代人们生活水平不断提高,健康意识也不断增强,小麦粉馒头已不能满足人们对营养的需求,将杂粮引入或替代一部分小麦粉已然成为市场发展趋势^[1],应运而生出口味独特,风味不一的杂粮馒头例如马铃薯馒头、玉米馒头等。杂粮馒头更注重营养强化,且多以天然原料为主,杂粮为辅。杂粮有一定的保健作用,加上特别的风味口感,使得杂粮馒头很受消费者青睐。

以往国内外研究主要集中在粮食和主食上,近来对杂粮的开发利用和相关研究也日益丰富。中国学者的研究主要是针对馒头的制作工艺及优化,评价方法的建立,品质改良等方面的研究,但对杂粮与小麦混合制成杂粮馒头、杂粮在普通小麦粉中所起作用等研究较少,而且一般研究中仅仅是一些单一的杂粮,研究内容也仅限于馒头品质改善及面团特性的分析^[2]。

由于添加的杂粮原料不同,淀粉来源各异,淀粉的构成及性质,包括直链淀粉、支链淀粉的含量、糊化、黏度特性都可能对面团品质产生影响。而目前淀粉对面团特性或馒头品质的影响研究偏单一,没有系统地将不同来源的淀粉在面团中的作用进行比较。

本试验将淀粉与谷朊粉混合模拟面团来研究不同来源的淀粉对普通面团特性,以及对馒头品质的影响,并进一步分析不同来源淀粉对面团产生影响差异的原因,为面团品质的改良提供理论依据。

1 材料与amp;方法

1.1 试验材料

新良中筋面粉:新乡市新良粮油加工有限责任公司;

基金项目:国家863计划项目(编号:2013AA102207/002)

作者简介:卢丹妮,女,江南大学在读硕士研究生。

通信作者:张晖(1966—),女,江南大学教授,博士研究生导师,博士。

E-mail: zhanghui@jiangnan.edu.cn

收稿日期:2017-09-06

谷朊粉:北京瑞迈嘉禾贸易有限公司;

禾煜马铃薯淀粉、木薯淀粉:上海裕田农业科技有限
公司;

古松红薯淀粉:北京古松经贸有限公司;

舒克曼玉米淀粉:珠海市金迪潮食品有限公司;

友加豌豆淀粉:四川友嘉食品有限公司;

网尚绿豆淀粉:衡水福桥淀粉有限公司;

高活性干酵母:安琪酵母股份有限公司。

经预试验确定模拟面团中淀粉与谷朊粉的质量比为
89:11较适宜,将混合粉在和面机中混匀按加水量与混合
粉1:2的质量比添加水分,和成面团。

1.2 仪器与设备

快速黏度分析仪:RVA 4500型,澳大利亚波通公司;

和面机:KM510型,美国Kenwood公司;

粉质仪:Farinograph-E型,德国Brabender公司;

拉伸仪:Extensograph-E型,德国Brabender公司;

旋转流变仪:AR-G2型,美国TA公司;

扫描仪:LIDE 25型,佳能(中国)有限公司;

质构仪:T-XT2i型,英国SMS公司;

扫描电子显微镜:SU1510型,日本HITACHI公司。

1.3 试验方法

1.3.1 组分测定

(1)水分:采用快速水分测定仪测定。

(2)蛋白质:按GB/T 5009.5—2010(凯氏定氮法)执行。

(3)脂肪:按GB/T 5009.6—2003(索式抽提法)执行。

(4)总淀粉:1%盐酸旋光法^[3]。

(5)直链和支链淀粉含量:双波长比色法^[4]。

1.3.2 糊化特性的测定 参照GB/T 14490—2008利用
RVA测定样品糊化特性。具体程序为:50℃下恒温1min,
4min内匀速升温至95℃,保持2.5min,4min内匀速冷却
至50℃,并在该温度下保持2min,转速为160r/min。

1.3.3 凝胶质构特性的测定 使用快速黏度测定仪(RVA)
对样品进行糊化,之后4℃储存24h使其形成凝胶,再进行
质构指标(T-XT2i型)的测定,测试程序为TPA32,探头型号
为P25,测前、测中和测后速率分别为1.00,0.80,0.80mm/s,
压缩比50%,两次压缩间隔3.00s,起点感应力5g。重复测

定3次,取平均值。

1.3.4 面团流变特性的测定 参照Inglett等^[5]的方法,利
用流变仪进行测定(Oscillation sweep tests)。取5g左右面
团样品置于平台上,静置5min后开始测试。测试条件为:
20mm平板,间隙2mm,测试温度25℃,应力0.5%,频率扫
描范围0.1~40.0Hz。

1.3.5 低场核磁测定混合面团水分分布 取和好的面团5g
左右,用生料带包裹好,利用低场核磁测定样品的横向弛豫
时间(T_2)。采用CPMG脉冲序列,具体参数:采样点数
(TD)185606,回波个数(NECH)4000,重复采样次数(NS)
4,重复采样等待时间(TR)4000ms;回波时间(TE)
200 μ s^[6]。数据输出后利用 T_2_FitFrm 软件对其进行分析
计算出 T_2 值(包括 T_{21} 、 T_{22} 和 T_{23} 值及其对应的信号幅度
 A_1 、 A_2 和 A_3),并拟合出各样品的波谱图。

1.3.6 模拟面团微观结构的测定 用导电胶将少量冻干后
的样品粘在样品台上,表面镀金后使用SEM进行拍照,加速
电压为3kV。

1.3.7 馒头的制作及品质测定

(1)馒头制作:按SB/T 10139—93执行。

(2)比容:馒头称重后并用小米替代法测定馒头体积,
按式(1)计算馒头的比容。

$$\text{比容} = \frac{\text{体积}}{\text{质量}} \quad (1)$$

(3)色泽:采用高精度分光测色仪测定。

(4)质构:采用质构仪测定,程序同1.3.3。

1.3.8 馒头芯孔隙分布 将切好的馒头片放于扫描仪中扫
描成像,截取馒头芯中部150~130cm²的图像,再使用
Matlab 2007b软件处理分析得到馒头芯孔隙的相关指标(孔
隙数量、平均孔隙面积、孔隙占总面积的比例)^[7]。

1.3.9 数据处理 利用Origin 8.0和SPSS 19.0对数据进行
处理和统计分析。

2 结果与分析

2.1 原料的主要组成及性质

由表1可知,7种来源淀粉中脂肪含量几乎为0,蛋白质
含量较低,豆类淀粉中蛋白质含量稍高分别为1.26%(豌
豆),1.19%(绿豆),可能与淀粉提取过程中豆类淀粉与蛋白

表1 原料的主要组成及性质[†]

Table 1 The main components and properties of raw materials

样品	含水量/%	蛋白含量/%	脂肪含量/%	直链淀粉/%	总淀粉/%	直支比	峰值黏度/(Pa·s)
面粉	13.31±0.02 ^b	12.18±0.20 ^a	1.89	27.29±0.39 ^f	83.17±0.23 ^e	0.31	1388.00±1.33 ^f
小麦淀粉	13.84±0.29 ^b	0.44±0.07 ^c	—	23.79±0.22 ^g	97.09±0.15 ^c	0.31	2829.00±0.34 ^d
马铃薯淀粉	16.99±0.11 ^a	0.43±0.03 ^c	—	25.09±0.28 ^g	95.70±0.29 ^d	0.26	9954.00±2.47 ^a
红薯淀粉	12.85±0.23 ^c	0.41±0.02 ^c	—	26.21±0.41 ^d	97.42±0.33 ^c	0.30	3850.00±1.31 ^c
木薯淀粉	12.52±1.01 ^e	0.40±0.03 ^c	—	26.91±0.34 ^c	97.84±0.24 ^c	0.28	4300.00±0.28 ^b
玉米淀粉	13.21±0.15 ^c	0.42±0.01 ^c	—	28.23±0.26 ^e	99.39±0.29 ^a	0.28	2830.00±1.36 ^d
豌豆淀粉	12.49±0.17 ^e	1.26±0.23 ^b	—	33.87±0.51 ^a	98.40±0.11 ^b	0.42	2042.00±0.46 ^e
绿豆淀粉	13.18±0.11 ^d	1.19±0.31 ^b	—	32.40±0.48 ^b	98.40±0.17 ^b	0.39	4529.00±0.67 ^b

[†] 同列中不同字母表示有显著性差异(P<0.05)。

结构较为紧密相关。7 种淀粉的总淀粉含量均高于 95%，纯度较高。直链淀粉含量由高到低分别为豌豆淀粉>绿豆淀粉>玉米淀粉>面粉>木薯淀粉>红薯淀粉>马铃薯淀粉>小麦淀粉。研究^[8]指出淀粉中直链淀粉的含量可以影响淀粉的糊化、膨胀特性等,同时也是影响面团品质的主要因素。还有研究^[9]指出淀粉充斥在面筋网络中,对面团的组织结构有重要影响,较高的直链淀粉含量对馒头品质不利,而较高的支链淀粉比例则对馒头有利。豆类淀粉直支比明显大于普通小麦淀粉,薯类淀粉与玉米淀粉直支比略低于小麦淀粉。马铃薯淀粉的糊化峰值黏度明显高于其他淀粉。

2.2 模拟面团混合粉的糊化特性

淀粉的糊化特性是评价淀粉适用性的重要指标之一,有研究^[8]指出,RVA 各项指标与直链淀粉含量显著相关,即直链淀粉含量低,糊化所需温度低,淀粉峰值黏度高。表 2 为模拟面团混合粉的糊化特性,可以看出,模拟面团峰值黏度均大于对照面粉,由于马铃薯淀粉直链淀粉含量较低,糊化峰值黏度高,马铃薯淀粉模拟体系的峰值黏度也最高,回生值最小,与之前讨论的结论一致,添加马铃薯淀粉可以减缓制品老化速率,延长其货架期。小麦淀粉模拟体系各项与面粉对照较为一致,其他 6 种模拟体系的峰值黏度均大于面粉对照和小麦淀粉模拟体系。由于马铃薯淀粉本身的峰值黏度高,其模拟体系面团峰值黏度增加较为明显。除小麦淀粉模拟体系外,其他 6 种模拟体系糊化温度均有所下

降,且马铃薯淀粉模拟体系最低,为 67.75 °C。还可以发现,模拟面团混合粉的糊化特性有别于普通小麦粉的糊化特性,从另一方面表明了面粉中除面筋蛋白和淀粉外的其他成分也会对混合粉的糊化特性产生影响,使面团的加工特性改变。

2.3 模拟面团混合粉的凝胶质构特性

淀粉的冷却回生形成淀粉凝胶,完全糊化的淀粉在形成凝胶的过程中,乱序的直链、支链淀粉分子重新排序^[10],淀粉的回生过程也就是体系从高能态转变为低能态,有序化的过程^[11]。表 3 为模拟面团混合粉的凝胶质构特性结果,红薯淀粉模拟体系的硬度和咀嚼性均与普通面粉接近,马铃薯淀粉、玉米淀粉和绿豆淀粉模拟体系的硬度和咀嚼性较为接近,豌豆淀粉模拟体系凝胶硬度和咀嚼性最大。有研究^[12]表明凝胶硬度与峰值黏度显著相关。除小麦淀粉模拟体系外,其他 6 种淀粉模拟体系的黏度均小于面粉对照,可能是不同来源的淀粉的性质有差异,且不同来源淀粉与面筋蛋白的相互作用也有差异。这也表明小麦粉中存在的其他成分对其凝胶质构产生较大影响,进而影响面团的品质。

2.4 模拟面团的动态流变学特性

储能模量也称弹性模量(G'),反映了物质力学特性中的弹性本质,而损耗模量又称黏性模量(G''),反映了物质力学特性中的黏性强度^[13]。图 1 是利用流变仪对混合面团进行频率扫描后得到的 G' 和 G'' 值测试结果。

表 2 模拟面团混合粉的糊化特性[†]

Table 2 The pasting properties of simulation of mixed flour

样品	峰值黏度/(Pa·s)	谷值黏度/(Pa·s)	衰减值/(Pa·s)	最终黏度/(Pa·s)	回生值/(Pa·s)	起始糊化温度/°C
面粉对照	1 388.00±0.19 ^f	1 007.00±0.04 ^e	381.00±0.28 ^e	1 893.00±0.42 ^f	886.00±0.22 ^b	89.65±0.03 ^b
小麦-谷朊	2 177.00±0.21 ^e	1 597.00±0.21 ^d	580.00±0.21 ^e	2 461.00±0.12 ^d	864.00±0.31 ^b	90.45±0.18 ^a
马铃薯-谷朊	7 558.00±1.98 ^a	2 972.00±1.29 ^a	4 586.00±0.11 ^a	3 426.00±0.23 ^b	454.00±0.09 ^d	67.75±0.11 ^g
红薯-谷朊	3 200.00±1.39 ^d	1 836.00±0.79 ^e	1 364.00±0.23 ^e	2 748.00±0.31 ^e	912.00±0.31 ^b	74.30±0.22 ^e
木薯-谷朊	3 632.00±1.21 ^b	1 639.00±0.34 ^d	1 993.00±0.01 ^b	2 500.00±0.01 ^d	861.00±0.35 ^b	71.80±0.17 ^f
玉米-谷朊	2 263.00±0.23 ^e	1 808.00±0.12 ^e	455.00±0.29 ^f	2 294.00±0.18 ^e	486.00±0.38 ^d	83.95±0.24 ^c
豌豆-谷朊	3 637.00±0.78 ^b	2 315.00±0.31 ^b	1 322.00±1.01 ^e	2 938.00±0.21 ^e	623.00±0.29 ^e	75.75±0.15 ^d
绿豆-谷朊	3 445.00±0.88 ^c	2 351.00±0.21 ^b	1 094.00±1.19 ^d	4 216.00±0.33 ^a	1 865.00±0.55 ^a	75.80±0.11 ^d

† 同列中不同字母表示有显著性差异(P<0.05)。

表 3 模拟面团混合粉的凝胶质构特性[†]

Table 3 The texture properties of simulation gel of mixed flour

样品	硬度/g	黏度/(g·s)	弹性	黏聚性	咀嚼性/g	回复性
面粉(对照)	275.69±1.29 ^d	-27.49±0.43 ^a	0.90±0.21 ^b	0.73±0.32 ^c	183.83±0.11 ^d	0.36±0.11 ^e
小麦-谷朊	253.35±1.11 ^d	-27.09±0.45 ^a	0.85±0.31 ^c	0.70±0.18 ^d	152.16±0.23 ^e	0.33±0.32 ^e
马铃薯-谷朊	515.23±0.31 ^b	-17.88±0.28 ^b	0.93±0.09 ^a	0.78±0.11 ^b	378.33±0.45 ^b	0.47±0.32 ^c
红薯-谷朊	227.04±0.28 ^e	-13.20±0.31 ^c	0.91±0.12 ^b	0.83±0.37 ^a	173.24±0.68 ^d	0.40±0.22 ^d
木薯-谷朊	97.39±0.33 ^f	-4.12±0.29 ^e	0.90±0.09 ^b	0.69±0.55 ^d	60.17±0.01 ^f	0.47±0.19 ^c
玉米-谷朊	445.25±1.21 ^c	-5.24±0.09 ^d	0.91±0.08 ^b	0.80±0.16 ^b	328.96±0.17 ^c	0.52±0.11 ^b
豌豆-谷朊	1 673.05±1.89 ^a	-2.36±0.02 ^f	0.86±0.21 ^c	0.60±0.34 ^e	875.23±0.28 ^a	0.43±0.24 ^d
绿豆-谷朊	407.03±0.33 ^c	-0.12±0.11 ^g	0.65±0.33 ^d	0.59±0.44 ^e	188.78±0.39 ^d	0.66±0.34 ^a

† 同列中不同字母表示有显著性差异(P<0.05)。

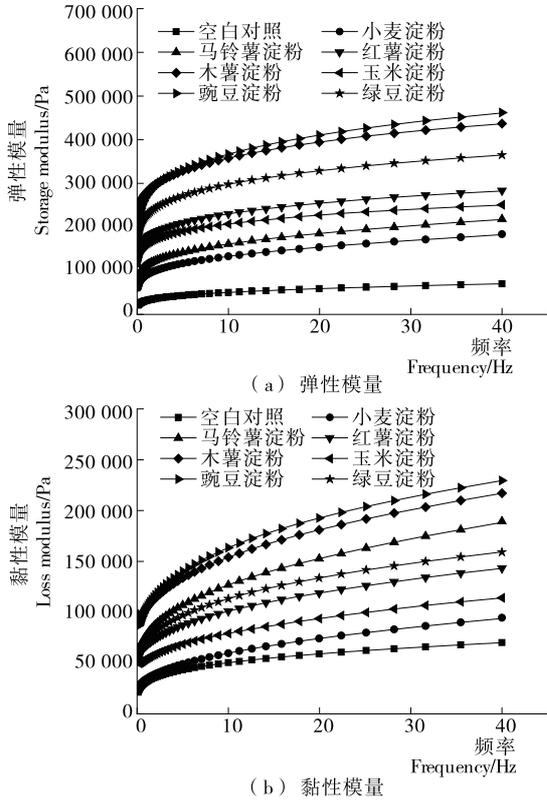


图1 模拟面团的动态流变学特性(频率扫描)
Figure 1 Dynamic rheological characteristics of mixed dough (frequency sweep)

由图1可知,面团的 G' 和 G'' 值均随频率的增加而增大,且 $G' > G''$,表明混合面团呈现弹性流体的性质。小麦淀粉模拟面团的弹性模量和损耗模量均与普通面团最为接近,其他6种淀粉模拟体系的弹性模量和损耗模量均大于普通面团,但不同淀粉模拟体系弹性模量和损耗模量增加量不一致,说明不同淀粉对面团结构贡献不同,有研究^[14-15]表明较高的 G' 和 G'' 值与高蛋白含量有关。Addo等^[16]的研究结果也表明淀粉与谷朊粉模拟面团体系的 G' 和 G'' 值远高于普通面团,可能是因为模拟面团中形成的高聚物成分少于普通面团;且小麦面粉中的其他成分如脂质以及各成分的比例、之间的相互作用等也会影响其流变特性^[17]。

2.5 模拟面团的水分分布的测定

一般来说,面粉加水揉混成面团后,面团中主要存在3种状态的水:不易流动水、结合水、自由水。利用核磁共振仪对不同模拟面团的自旋-自旋弛豫时间 T_2 进行测定,软件拟合后得到如图2所示的2个峰,说明面团样品中无自由水。 T_2 表征了水分的流动性, T_2 值越小代表此种水分的流动性越弱,其中 T_{21} 值最小,代表此种水的流动性最弱,一般认为是结合水^[18],结合水指的是与面团中的蛋白、淀粉等大分子物质结合较强的水^[19-20],这种结合十分紧密,流动性很差。 T_{22} 被认为是间接与大分子结合直接与强结合水以氢键结合的弱结合水层,其结合强度比单分子层水略差。 T_{21} 组分水代表与蛋白质紧密结合的水,是影响面团面筋网络结构形成的重要组分^[21]。由图2可知,不同淀粉与谷朊粉模拟

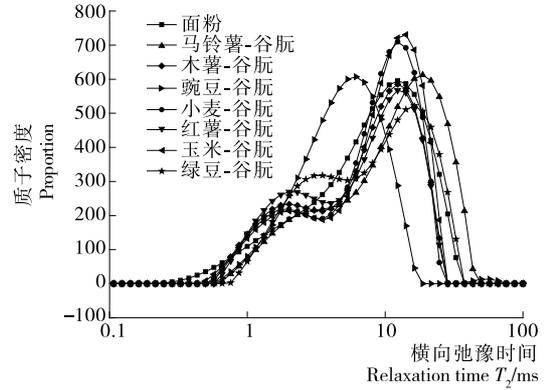


图2 不同模拟面团的横向弛豫时间 T_2 分布
Figure 2 T_2 distribution of transverse relaxation time of different simulated dough

成面团,其水分分布有差异,可能是因为不同淀粉及蛋白与水的作用力不同^[19]。

由图3可知,红薯淀粉、玉米淀粉以及绿豆淀粉模拟面团的 T_{21} 值较为相近,且均大于普通对照面团,马铃薯淀粉和木薯淀粉模拟面团的 T_{21} 值均低于普通对照面团,豌豆淀粉模拟面团 T_{21} 值与普通面团最为接近。上述差异表明了在这几种淀粉中,红薯淀粉、玉米淀粉和绿豆淀粉与蛋白质的结合能力较强,马铃薯淀粉和木薯淀粉与蛋白质的结合能力较弱。

图4为普通面团和模拟面团醒发1h后的微观结构图。由图4可以看出,在普通面团中,小麦粉因具有A型、B型两种颗粒,不同程度地均匀填充于面筋网络中,面筋网络形成

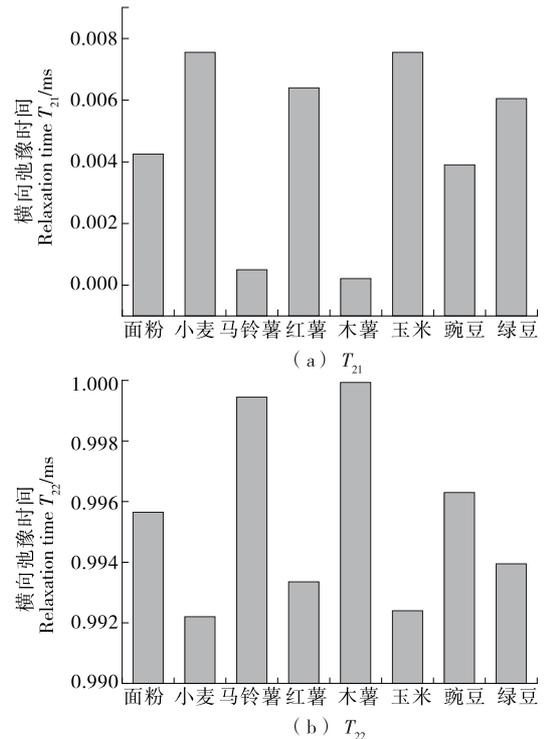


图3 不同模拟面团的横向弛豫时间 T_{21} 和 T_{22}
Figure 3 The transverse relaxation time T_{21} , T_{22} of different simulated dough

良好,排列均匀,留有气孔,小麦淀粉模拟面团中也形成了较薄的面筋网络结构包裹着淀粉,延展性较好,但与普通面团还是有差异,可能是添加的谷朊粉相比于自然形成的面筋蛋白结构已改变。其他模拟面团中大部分颗粒间均未形成连续的面筋网络结构,延展性较差,面筋网络容易断裂。由于马铃薯淀粉颗粒较大,且具有较高的持水性和膨胀度,也很

好地填充于面筋网络中,而红薯淀粉、木薯淀粉以及玉米淀粉颗粒较为接近都比较小,膨胀度小,其淀粉颗粒排列紧密,不能够很好地填充于面筋网络中,面团的延展性都较差;豌豆淀粉与绿豆淀粉较上面 3 种淀粉而言,排列较为疏松,形成的面筋网络也比较多。模拟面团微观结构及其面筋网络形态有很大差异,其原因可能是普通面团中的其他成分如脂质等也对面团微观结构有很大的贡献,与之前的流变学特性分析结果一致,也正是因为这些差异,解释了其他淀粉不能很好地模拟出品质良好的面团,及其最终制品馒头品质劣变的原因。

2.6 模拟面团制成的馒头品质分析

为了进一步分析不同淀粉模拟面团制成馒头芯孔隙结构的差异,利用 Matlab 2007b 软件等对馒头芯孔隙分布图像进行分析,得到馒头芯的孔隙相关指标,详见表 4,其中孔隙率为孔隙占总面积的比例。较高的馒头品质如普通面粉对照,应具有较多的孔隙数量,较小的平均孔隙面积和较低的孔隙率。由表 4 可知,小麦淀粉与马铃薯淀粉模拟面团的馒头孔隙数量与普通馒头较为接近,持气性较好,但其平均孔隙面积与孔隙率大于普通面粉。而其他淀粉模拟面团的馒头孔隙数量比普通面粉小,平均孔隙面积和孔隙率均比普通面粉大,这与面团微观结构中观察的结果较为一致。由图 4(b)和表 4 可以看出,其中木薯淀粉模拟面团的馒头品质最差,故木薯淀粉不能很好地模拟成面团。

由表 4 可知,相比普通馒头,模拟面团制成的馒头比容均有所下降,除小麦淀粉外,马铃薯淀粉模拟面团制成的馒头在 6 种淀粉中,比容最大,说明其持气性较好,而且马铃薯淀粉模拟面团制成的馒头色泽也与普通馒头较为接近,所以马铃薯淀粉模拟面团的馒头品质较其他 6 种淀粉模拟面团的好,这一结果与刘爱华^[22]得出的较高的支链淀粉含量使馒头的比容下降,食用品质降低结论一致。

馒头的全质构参数包括硬度、咀嚼性、回复性、弹性和内聚性等,可以用来判断馒头的可接受性。有研究^[23-24]表明,馒头的硬度和咀嚼性与直链淀粉含量有直接的关系,即直链淀粉含量越多,馒头的硬度和咀嚼度越高;直链、支链淀粉的比值与馒头的硬度和咀嚼度呈正相关。由表 5 可知,模拟体系制作出的馒头硬度、弹性、黏聚性、咀嚼性和回复性均大于普通馒头,其中绿豆淀粉模拟体系的馒头硬度和咀嚼性最大,玉米淀粉模拟体系馒头弹性和黏聚性最大,马铃薯淀粉模拟体系馒头的回复性最大。硬度和咀嚼性是评价面制品品质好坏的两个重要指标,在一定范围内,越小的硬度和咀嚼性表明制品越柔软,适口性越好^[25]。综上,除小麦淀粉外,马铃薯淀粉模拟馒头体系更接近普通馒头,感官品质方面略不及其他模拟体系,而木薯淀粉和豆类淀粉模拟体系馒头综合品质较差。

3 结论

模拟面团的糊化温度均有所下降,马铃薯淀粉因颗粒较大,直链淀粉含量低,峰值黏度高,起始糊化温度低,形成的模拟面团也具有相同特征。薯类淀粉和豆类淀粉模拟面团

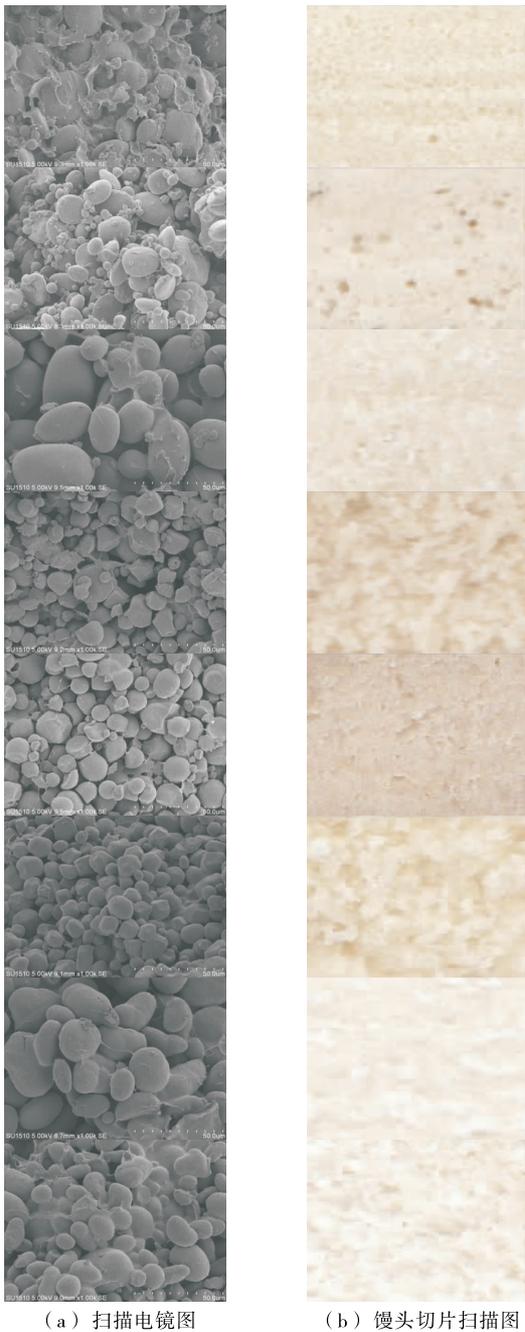


图 4 模拟面团的微观结构及制成馒头的馒头切片扫描图
从上到下依次是小麦粉面团、小麦淀粉-谷朊粉面团、马铃薯淀粉-谷朊粉面团、红薯淀粉-谷朊粉面团、木薯淀粉-谷朊粉面团、玉米淀粉-谷朊粉面团、豌豆淀粉-谷朊粉面团和绿豆淀粉-谷朊粉面团

Figure 4 Micrographs (1 000×) of simulated dough

and scan of bread slice

表4 馒头片孔隙的基本特征及馒头比容[†]

Table 4 The basic characteristics and specific volume of bread tablets

样品	孔隙数量/个	平均孔隙面积/mm ²	孔隙占总面积的比例/%	比容
面粉	128.00±10.21 ^a	29.00±1.25 ^f	19.00±0.21 ^f	1.71±0.04 ^a
小麦-谷朥	110.00±8.11 ^{ab}	67.00±2.11 ^a	35.00±1.02 ^e	1.03±0.14 ^b
马铃薯-谷朥	135.00±9.35 ^a	56.00±1.89 ^b	34.00±0.78 ^e	0.85±0.12 ^c
红薯-谷朥	89.00±5.34 ^b	36.00±0.49 ^d	38.00±0.56 ^d	0.71±0.21 ^e
木薯-谷朥	23.00±2.15 ^e	11.00±0.12 ^g	8.00±0.17 ^g	0.67±0.09 ^e
玉米-谷朥	56.00±3.45 ^d	45.00±0.56 ^c	46.00±0.83 ^a	0.77±0.04 ^d
豌豆-谷朥	78.00±2.99 ^c	34.00±0.45 ^e	40.00±0.89 ^c	0.69±0.01 ^e
绿豆-谷朥	98.00±4.37 ^b	36.00±0.57 ^d	42.00±1.32 ^b	0.81±0.07 ^c

† 同列中不同字母表示有显著性差异(P<0.05)。

表5 不同来源淀粉模拟面团制成馒头的质构特性[†]

Table 5 Texture characteristics of steamed bread made from different starch dough

样品	硬度/g	黏度/(g·s)	弹性	黏聚性	咀嚼性/g	回复性
面粉	2 732.17±0.29 ^b	-1.59±0.06 ^a	0.87±0.04 ^b	0.67±0.13 ^b	1 581.84±0.03 ^b	0.31±0.08 ^c
小麦-谷朥	3 631.09±0.35 ^a	-0.36±0.01 ^c	0.91±0.18 ^a	0.80±0.11 ^a	2 705.31±0.35 ^a	0.49±0.12 ^{ab}
马铃薯-谷朥	7 902.94±2.45 ^c	-0.15±0.04 ^d	0.92±0.12 ^a	0.83±0.06 ^a	5 002.44±0.15 ^b	0.64±0.11 ^a
红薯-谷朥	4 365.73±1.34 ^f	-0.04±0.01 ^e	0.94±0.15 ^a	0.84±0.07 ^a	3 163.31±0.05 ^f	0.46±0.06 ^b
木薯-谷朥	5 398.75±1.76 ^d	-0.61±0.01 ^b	0.83±0.04 ^b	0.86±0.11 ^a	3 863.59±0.09 ^d	0.41±0.01 ^b
玉米-谷朥	4 867.41±0.79 ^e	-0.12±0.02 ^d	0.95±0.05 ^a	0.87±0.09 ^a	4 014.26±1.21 ^c	0.56±0.12 ^a
豌豆-谷朥	8 071.52±2.38 ^b	-0.12±0.05 ^d	0.89±0.12 ^{ab}	0.84±0.03 ^a	3 429.30±1.78 ^c	0.58±0.03 ^a
绿豆-谷朥	9 648.16±1.98 ^a	-0.33±0.17 ^c	0.89±0.03 ^{ab}	0.85±0.04 ^a	7 330.82±1.99 ^a	0.59±0.01 ^a

† 同列中不同字母表示有显著性差异(P<0.05)。

糊黏度低于谷物类,且薯类淀粉的糊化温度较低;豌豆淀粉因其较高的直链淀粉含量,模拟体系糊凝胶硬度和咀嚼性较大,其面团的储能模量(G')和损耗模量(G'')也较大;马铃薯淀粉持水性较高,其模拟面团的 T_{21} 值(结合水)小,其淀粉与水的作用强于其他淀粉。观察模拟面团体微观结构可以看出,小麦淀粉因具有A型、B型两种颗粒,不同程度地均匀填充于面筋网络中,面筋网络形成良好;马铃薯淀粉颗粒较大,且具有较高的持水性和膨胀度,很好地填充于面筋网络中,红薯、木薯和玉米淀粉因其颗粒较小,膨胀度小,模拟面团结构紧密,延展性较差。模拟面团制成的馒头比容均小于普通馒头,但硬度、弹性、咀嚼性均大于普通馒头,其中马铃薯淀粉和豆类淀粉模拟体系的馒头硬度和咀嚼性较大,与直链淀粉含量和颗粒大小呈不显著正相关。综上,除小麦淀粉外,马铃薯淀粉模拟面团品质较好,而木薯淀粉和豆类淀粉模拟面团和馒头的品质都较差。

本试验未对淀粉进行改性处理,来验证直支链淀粉含量、淀粉颗粒大小等对面团特性的影响。未来还可以选择直链淀粉含量高、淀粉颗粒大的淀粉,进行改性后添加到面团中来验证这些因素是否能影响面团特性。

参考文献

[1] 汪姣. 杂粮馒头的制作及其品质特性分析[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2012: 1.

[2] 林金剑. 多种谷物馒头粉的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2008: 6-7.
 [3] 陶锦鸿, 郑铁松. 旋光法测定莲子淀粉含量的研究[J]. 食品工业科技, 2009(1): 306-308.
 [4] 曾凡逵, 赵鑫, 周添红, 等. 双波长比色法测定马铃薯直链/支链淀粉含量[J]. 现代食品科技, 2012, 28(1): 119-122.
 [5] INGLETT George E, CHEN Die-jun, LIU Sean X, et al. Pasting and rheological properties of oat products dry-blended with ground chia seeds[J]. LWT-Food Science and Technology, 2014, 55(1): 148-156.
 [6] 李妍, 林向阳, 叶南慧, 等. 利用核磁共振技术研究海带面团筋网络结构形成过程[J]. 中国食品学报, 2014, 14(12): 39-48.
 [7] 王杰琼, 王立, 张晖, 等. 燕麦全粉对面团特性及馒头品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2016, 42(3): 42-49.
 [8] 章绍兵, 陆启玉. 直链淀粉含量对面粉糊化特性及面条品质的影响[J]. 河南工业大学学报: 自然科学版, 2005, 26(6): 9-12.
 [9] 付苗苗, 王晓曦. 蛋白质与淀粉含量之比值得馒头感官品质的影响[J]. 粮食与饲料工业, 2013(6): 19-24.
 [10] 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.
 [11] WANG Shu-jun, LI Cai-li, COPELAND Les, et al. Starch retrogradation: A comprehensive review[J]. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2015, 14(5): 568-585.
 [12] 方姗姗. 小麦粉糊化特性对馒头品质的影响研究[D]. 郑州: 河南工业大学, 2013: 25-26.

(下转第12页)

面上吸附的聚集体占比最高;随着蛋白浓度的提高,聚集体的占比逐渐降低,7S、11S球蛋白的占比提高,且7S的吸附占明显优势。在趋于饱和和吸附的情况下(20.0,30.0 mg/mL),界面蛋白含量:7S球蛋白>11S球蛋白>聚集体>convicilin,且聚集体含量略低于原蛋白组成,11S球蛋白的含量相比于原蛋白组成有显著提高。

根据以上数据可推测:当蛋白含量不足以包裹油滴时,绝大部分蛋白会吸附到界面上,且聚集体、不溶蛋白的吸附会造成空间位阻,阻碍7S、11S球蛋白的吸附。当蛋白含量充足时,在均质时小分子的7S球蛋白迁移、吸附到界面上的速率较快,11S球蛋白次之,在小油滴形成时可以将包裹住;而大分子的聚集体迁移速率慢,在吸附过程中处于劣势。当蛋白含量趋于饱和状态时,7S、11S球蛋白维持界面吸附的优势,聚集体占比进一步降低,直至略低于原蛋白组成,但整体占比波动较小,趋于稳定。

3 结论

在水包油型乳状液体系中,豌豆蛋白中的可溶和不溶蛋白组分共同参与吸附、乳化,且当蛋白浓度达20.0 mg/mL时,油水界面可趋于饱和吸附状态。随着蛋白浓度的提高,界面蛋白含量逐渐增加并趋于饱和,而在各蛋白组分对油水界面的竞争吸附中,大分子聚集体逐渐丧失吸附优势,7S和11S球蛋白在界面吸附中取得并维持优势,且能够更好地包裹和稳定油滴,最终表现为更好的乳化能力和稳定性。

参考文献

- [1] LIANG Han-ni, TANG Chuan-he. pH-dependent emulsifying properties of pea [*Pisum sativum* (L.)] proteins [J]. Food Hydrocolloids, 2013, 33(2): 309-319.
- [2] LIANG Han-ni, TANG Chuan-he. Pea protein exhibits a novel Pickering stabilization for oil-in-water emulsions at pH 3.0 [J]. LWT-Food Science and Technology, 2014, 58(2): 463-469.
- [3] 彭伟伟. 热处理对豌豆蛋白乳化性质及界面吸附行为的影响 [D]. 无锡: 江南大学, 2016: 18-21.
- [4] 郭兴凤, 崔会娟, 胡婷婷. 碱性蛋白酶改性对豌豆蛋白乳化性影响 [J]. 粮食与油脂, 2013, 26(10): 26-29.
- [5] CASTELLANI O, BELHOMME C, DAVID-BRIAND E, et al. Oil-in-water emulsion properties and interfacial characteristics of hen egg yolk phosphatidylcholine [J]. Food Hydrocolloids, 2006, 20(1): 35-43.
- [6] FIREBAUGH J, DAUBERT C. Emulsifying and foaming properties of a derivatized whey protein ingredient [J]. International Journal of Food Properties, 2005, 8(2): 243-253.
- [7] LOWRY O H, ROSEBROUGH N J, FARR A L, et al. Protein measurement with the Folin phenol reagent [J]. Journal of Biological Chemistry, 1951, 193(1): 265-275.
- [8] PENG Wei-wei, KONG Xiang-zhen, CHEN Ye-ming, et al. Effects of heat treatment on the emulsifying properties of pea proteins [J]. Food Hydrocolloids, 2016, 52: 301-310.
- [9] 郭兴凤, 莫重文. 豌豆蛋白粉的制取研究 [J]. 郑州粮食学院学报, 1995, 16(3): 70-73.
- [10] 沙金华. 豌豆分离蛋白的制备, 性质及应用研究 [D]. 无锡: 江南大学, 2009: 11-12.
- [11] GATEHOUSE J A, LYCETT G, CROY R, et al. The post-translational proteolysis of the subunits of vicilin from pea (*Pisum sativum* L.) [J]. Biochemical Journal, 1982, 207(3): 629-632.
- [12] BARAC M, CABRILLO S, PESIC M, et al. Profile and functional properties of seed proteins from six pea (*Pisum sativum*) genotypes [J]. International Journal of Molecular Sciences, 2010, 11(12): 4973-4990.
- [13] OKANE F E, HAPPE R P, VEREIJKEN J M, et al. Characterization of pea vicilin 2: Consequences of compositional heterogeneity on heat-induced gelation behavior [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2004, 52(10): 3149-3154.
- [14] CASEY R. Immunoaffinity chromatography as a means of purifying legumin from *Pisum* (pea) seeds [J]. Biochemical Journal, 1979, 177(2): 509-520.
- [15] LAZARIDOU A, DUTA D, PAPAGEORGIOU M, et al. Effects of hydrocolloids on dough rheology and bread quality parameters in gluten-free formulations [J]. Journal of Food Engineering, 2007, 79(3): 1033-1047.
- [16] HAO Chang-chun, WANG Li-jun, LI Dong, et al. Influence of alfalfa powder concentration and granularity on rheological properties of alfalfa-wheat dough [J]. Journal of Food Engineering, 2008, 89(2): 137-141.
- [17] LI Juan, HOU Gary G, CHEN Zheng-xing, et al. Studying the effects of whole-wheat flour on the rheological properties and the quality attributes of whole-wheat saltine cracker using SRC, alveograph, rheometer, and NMR technique [J]. LWT-Food Science and Technology, 2014, 55(1): 43-50.
- [18] ADDO K, XIONG Y L, BLANCHARD S P. Thermal and dynamic rheological properties of wheat flour fractions [J]. Food Research International, 2001, 34(4): 329-335.
- [19] 王坤, 吕振磊, 王雨生, 等. 变性淀粉对面团流变学特性和面包品质的影响 [J]. 食品与机械, 2011, 27(4): 20-24.
- [20] PITOMBO R N M, LIMA G A M R. Nuclear magnetic resonance and water activity in measuring the water mobility in Pintado (*Pseudoplatystoma corruscans*) fish [J]. Journal of Food Engineering, 2003, 58(1): 59-66.
- [21] 付奎. 小麦淀粉对于面粉品质、冷冻面团及馒头的影响 [D]. 郑州: 河南工业大学, 2014: 5-6.
- [22] 袁永利, 黄卫宁, 邹奇波. 食品酶制剂对冷冻面团流变学和微结构的影响 [J]. 食品与机械, 2006, 22(6): 30-33.
- [23] 李娟. 全麦苏打饼干烘焙品质改良以及水分迁移机制的研究 [D]. 无锡: 江南大学, 2013: 66-67.
- [24] 刘爱华. 小麦品种品质特性与北方馒头品质关系的研究 [D]. 北京: 中国农业科学院, 2000: 32-33.
- [25] 王展, 印兆庆. 面粉中淀粉及其组分的含量与馒头品质关系的研究 [J]. 粮食与饲料工业, 2005(3): 13-14.
- [26] 奚宽鹏, 钱海峰, 张晖, 等. 小麦面筋蛋白酶解物对酵母增殖的影响 [J]. 食品与生物技术学报, 2016(6): 597-603.
- [27] 陆启玉. 小麦面粉中主要组分对面条特性影响的研究 [D]. 广州: 华南理工大学, 2010: 26-30.

(上接第6页)