

用 Mixolab 分析马铃薯生全粉的流变学特性

曾凡逵¹, 刘刚¹, 林罡¹, 于卉², 高国强³, 文国宏⁴

(1. 中国科学院兰州化学物理研究所, 甘肃兰州 730000) (2. 法国肖邦技术公司中国分公司, 北京 100138) (3. 兰州工业研究院, 甘肃兰州 730050) (4. 甘肃省农业科学院马铃薯研究所, 甘肃兰州 730070)

摘要:采用 Mixolab 通过对热-机械性能的分析研究了马铃薯生全粉的流变学特性。以 11 个马铃薯生全粉为实验材料, 探讨 Mixolab 检测马铃薯生全粉流变学特性的重复性, 结果显示: 各样品的 2 次测试曲线的重合度高, 全曲线的平均变异系数小于 5%; 通过对比 B01~B10 这 10 个不同样品检测结果, 可以看到不同马铃薯栽培品种流变学特性存在较大的差异, 具体表现在面团形成、面团稳定、淀粉糊化和回生各阶段检测指标上的差异; 通过对比 B06 和 B10 两个采用不同研磨方式制备的样品, 发现不同马铃薯生全粉制作的研磨工艺将极大的影响样品的吸水率、各粘度指标, 但对马铃薯生全粉面团的弱化后稠度 (Cs 和 C2) 影响不大; 通过对比马铃薯生全粉、雪花粉和标准面粉的热-机械性能曲线, 发现雪花粉在马铃薯主食化产品开发中所起到的作用主要为填充剂。马铃薯生全粉具有良好的加工性能, 流变学特性还可以通过食品添加剂进一步改善, 制造出无需添加小麦面粉的纯马铃薯主食化产品馒头、面条和面包是可能的。

关键词: 马铃薯生全粉; Mixolab; 重复性; 专用粉目标剖面图; 流变学特性

文章编号: 1673-9078(2017)3-146-154

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2017.3.023

Analysis of the Rheological Properties of Raw Dehydrated Potato Flour by Mixolab

ZENG Fan-kui¹, LIU Gang¹, LIN Gang¹, YU Hui², GAO Guo-qiang³, WEN Guo-hong⁴

(1. Lanzhou Institute of Chemical Physics of Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China) (2. Chopin Technologies, China (Groupe Tripette & Renaud), Beijing 100138, China) (3. Lanzhou Industry Research Institute, Lanzhou 730050, China) (4. Potato research Institute, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou 730070, China)

Abstract: The rheological properties of raw dehydrated potato flour were evaluated by analyzing the thermo-mechanical properties using Mixolab. Eleven raw dehydrated potato flours were used as the experimental material, and the repeatability of using Mixolab to determine the rheological properties of raw dehydrated potato flour was explored. The results indicated that the test curves of each sample exhibited a high degree of overlap ($n=2$). The average variation coefficient of total curve was less than 5%. There were significant differences in the rheological properties of different potato cultivars, as determined by comparing the test results of samples B01~B10. These differences were found on the indicators at the stages of dough formation, dough stability, starch gelatinization, and retrogradation. The B06 and B10 samples that were prepared by different grinding methods were compared, and the results revealed that the grinding process used for the preparation of raw dehydrated potato flour could significantly affect the water absorption and viscosity values of samples, but have only slight impact on the indices of weakening consistency (Cs and C2). Comparison of the thermo-mechanical properties of raw dehydrated potato flour, potato flakes, and standard wheat flour indicated that potato flakes mainly played a role as a filling agent in the development and processing of potato staple foods. Raw dehydrated potato flour has excellent processability, and its rheological properties can also be further improved by adding food additives. So that it is possible to produce pure potato staple foods (steamed bread, noodles and bread) without adding wheat flour.

Key words: raw dehydrated potato flour; Mixolab; repeatability; target profile for specialized flour; rheological properties

FAO 长期把马铃薯列为第四大主食^[1]。由于全球

收稿日期: 2016-06-12

基金项目: 国家马铃薯产业技术体系专项 (CARS-10)

作者简介: 曾凡逵 (1980-), 男, 博士, 副研究员, 主要从事和马铃薯相关的化学与加工技术研究

通讯作者: 刘刚 (1962-), 男, 博士, 研究员, 主要从事马铃薯加工研究

人口增长, 一些农业科学家认为“if a food crisis should happen in the future, only potato can save the human race”; 一些食品科学家认为“we could meet our daily nutritional needs, with only potatoes and milk”。法式炸薯条在很多西方国家一直被当成主食, 他们已经逐步形成了“there is no such thing as unhealthy food, only

unhealthy diets”的观念。法式炸薯条的脂肪含量本身也不高,况且马铃薯块茎本身缺脂肪已经影响其作为食品的受欢迎程度,所以西方国家的法式炸薯条及薯片都在马铃薯加工过程中使用了脂肪作为加工介质,让马铃薯与油脂发生反应提高其作为食品的品质。

2015年初,农业部启动马铃薯主食化战略,推进把马铃薯加工成馒头和面条等主食,马铃薯将成稻米、小麦和玉米外又一主粮^[2]。马铃薯主食化的研究方向主要是向小麦面粉中掺入一定比例的马铃薯全粉再辅以一定量的添加剂改良剂等,通过适当调整传统的生产工艺,生产出相应的马铃薯馒头、面条等制品。

用马铃薯脱水产品(全粉)部分替代面粉开发主食化产品国外也有相关文献报道^[3,4],但报道的产品都是面包,他们的研究已经发现马铃薯脱水产品的添加量不能太高,否则会影响面包的品质。其实不难发现,由于面筋蛋白含量问题,比起面包,马铃薯更适合用于开发对面筋含量要求不高的饼干、蛋糕等焙烤类食品。这些食品作为早餐及休闲食品非常不错,由于主要成分还是碳水化合物,可以作为人体主要能量来源,同样也是主食。

2010年上传到优酷网站的一个视频显示:马铃薯发源地秘鲁已经成功将马铃薯面包上市,原因是当时小麦价格上涨了35%,他们将马铃薯粉与面粉(1:2)混合加工成价格具有竞争优势的面包(http://v.youku.com/v_show/id_XMTMxNzExNzU2.html?from=s1.8-1-1.2)。馒头(Steamed bread)属于中国传统主食产品,本质上就是蒸出来面包,和面包相比前期加工工艺大同小异,后期馒头采用蒸的方式而面包则采用烤的方式提供高温来熟化食品。馒头和面包对原料加工性能的要求具有相似的地方,西方国家对面包的研究方法及配套仪器设备已经相当成熟,因此我们可以借鉴小麦面粉面包的研究方法开展马铃薯馒头的研究以及马铃薯面条和其他主食化产品。

本研究旨在以ISO17718:2013标准法为基础,研究Mixolab用于马铃薯生全粉的流变学特性分析方法的重复性,分析不同马铃薯生全粉品种间的差异,通过6号和11号检测结果的比对,了解不同马铃薯生全粉加工工艺中磨粉方法对结果的影响,最后比较了马铃薯生全粉与雪花粉和标准面粉流变学特性的差异。

1 材料与方法

1.1 实验材料

11个马铃薯生全粉样品,编号为B01~B11,对应的新鲜马铃薯块茎由甘肃省农业科学院马铃薯研究

所、定西市农业科学研究所和甘肃爱兰马铃薯种业有限公司馈赠。前10个样品为不同的马铃薯品种: B1,陇薯12; B2,大西洋; B3,陇薯11; B4,克新1号; B5,中薯21; B6,陇薯7; B8,夏波蒂; B9,陇薯10; B10, LY08104-12。B11号样品与B06号样品为同一个马铃薯品种,经过不同的磨粉方法得到的样品。马铃薯雪花粉由张家口弘基农业科技开发有限公司馈赠,水分含量为9.2%;标准小麦面粉由法国肖邦技术公司提供,水分含量为11.20%,吸水率为57.3%。

1.2 实验仪器

真空低温干燥系统:由DZG-6050D型真空干燥箱(上海森信实验仪器有限公司);WD-9412A恒温循环器(北京市六一仪器厂);2XZ-4型旋片真空泵(上海真空泵厂)和蛇形冷冷器、气体干燥塔及管路连接而成;Mixolab混合实验仪,法国肖邦仪器公司;EM10烘箱,法国肖邦技术公司;DC-1500A型高速多功能粉碎机(浙江武义鼎藏日用金属制品厂);不锈钢五谷杂粮磨粉机(上海缘沃工贸有限公司)。

1.3 实验方法

1.3.1 马铃薯生全粉样品的制备

B01~B10样品在甘肃银河食品集团有限责任公司采用工业生产线真空冷冻干燥,然后磨成粉过110目筛;B11样品采用实验室组装的真空低温干燥系统进行干燥,然后用高速多功能粉碎机先预粉碎再用五谷杂粮磨粉机磨粉后过110目筛,马铃薯雪花粉采用五谷杂粮磨粉机磨粉后过110目筛。

1.3.2 样品含水量的测定

水分测定参照《GB/T 21305-2007 谷物及谷物制品水分的测定 常规法》。

1.3.3 马铃薯生全粉蛋白和淀粉流变学特性检测法

检测参考《ISO 17718:2013 揉混和加热条件下测定全麦粉和面粉的流变学特性》Chopin+标准测试法^[5],和面转速为80 r/min,目标扭矩为1.1 Nm,粉团重量(粉和水)总质量75 g。标准测试的温度控制分为3个过程:①8 min保持30℃恒温阶段;②加温阶段,15 min内以4℃/min速度升温到90℃并保持高温7 min;以及③降温阶段,10 min内以4℃/min速度降温到50℃并保持5 min,整个过程共计45 min。

2 结果与分析

2.1 Mixolab检测马铃薯生全粉方法的重复性

研究

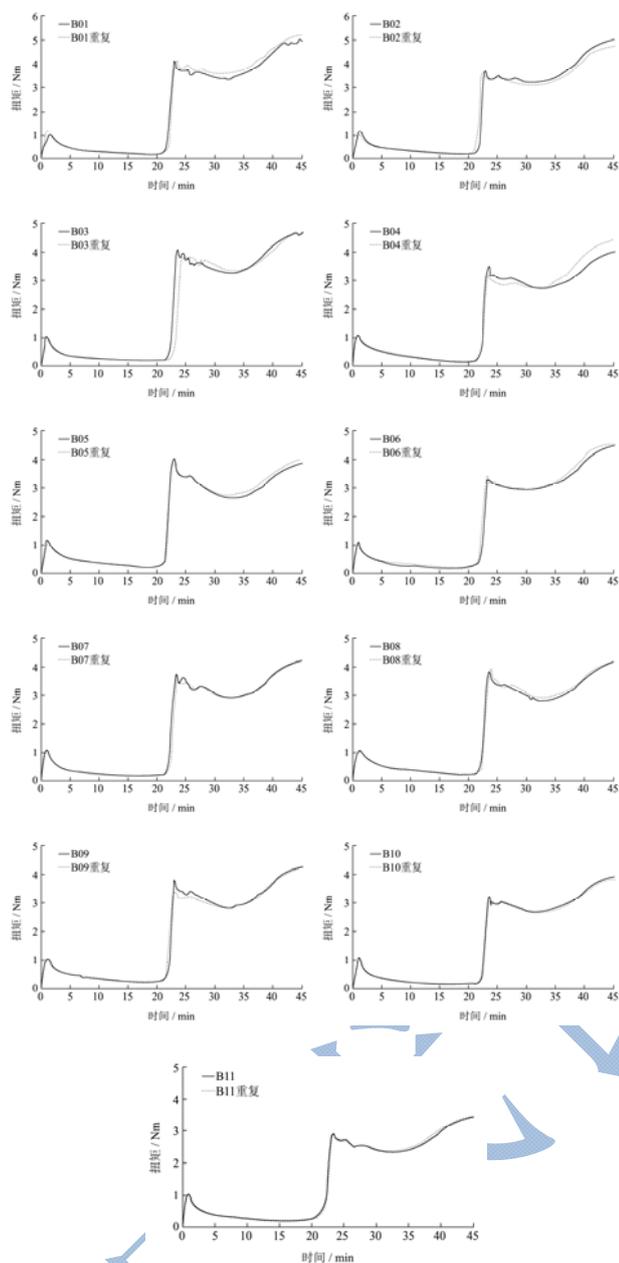


图1 所有样品的Mixolab曲线

Fig.1 Mixolab curves of all samples (Repeatability test, n=2)

Mixolab 混合实验仪是一种多功能的检测谷物粉团流变学和酶学特性的分析仪器, 可以实现各种专用粉品质的最严格监控^[6]。然而, 该仪器主要应用和数据积累是以小麦面粉为基础^[7], 虽然在其他谷物和粮食, 如大米、高粱、荞麦、青稞、大麦、燕麦和魔芋粉等上均有相关的应用的报道, 但是该仪器在检测马铃薯生全粉的品质特性上的应用仍属空白。

每个样品测试 2 次, 计算 Mixolab 各测试指标的平均值、标准差和变异系数。由于马铃薯全粉与小麦面粉相比不含有面筋蛋白, 因而其粉团成团后的稠度最大值稳定性较面粉差, 所以本实验规定, 最大稠度值在 $1.1 \text{ Nm} \pm 0.1$ 范围内, 即判定实验成功。所有测试样品的 2 次重复测试曲线, 见图 1。由图 1 可以看到, 各个马铃薯生全粉样品的 2 次测试曲线的重合度较高, 且测试曲线较为完整, 未有曲线断裂或出现异常峰值等现象的发生。

为了更好的分析此检测方法的重复性, 并明确各检测参数的重复性限。本研究分别计算了 Mixolab 各检测指标的 2 次重复测试的标准差和变异系数, 分别见表 3 和表 4。另外表 3 中, 根据得到标准差值定义了进行马铃薯生全粉检测时的各指标的重复性限值, 计算方法为: 重复性标准差 $\times 2.77$ 。此外, 由于 Mixolab 测试曲线是根据整个测试过程中 (45 min) 每一秒钟测得的扭矩记录绘制而成的, 为了评价重复测试整条曲线的重复性, 跟研究分析了每个样品的 2 次测试每一秒测得的数据得重复性 (标准差和变异系数), 并由此获得了每个样品 2 次重复测试曲线的平均标准差和变异系数, 也分别列于表 1 和表 2。

由表 1, 除了几个特征值的面团温度参数外, 11 个样品的其他测试指标的平均标准偏差数值均较小, 基本都小于 0.1。由这些标准偏差计算得到的各指标检测的重复性限最大为 C4 温度的重复性限 $2.19 \text{ }^\circ\text{C}$, 最小为稠度最小值 C2 值得重复性限 0.02, 这些指标的重复性限值均在可接受的合理范围内。而 11 个样品的整条曲线的重复性标准偏差的平均值为 0.055, 也表明了 Mixolab 重复测试同一个马铃薯全粉样品的测试曲线重合度较高。

由表 2 各参数变异系数表可以看出, 除了 α 、 β 和 γ 以及形成时间和稳定回见等参数外, 其他主要参数的变异系数基本都 $< 5\%$, 表明了这些检测参数的重复性良好。虽然形成时间和稳定时间两个参数的变异系数略大, 但表 1 中的这两个参数的标准差较小, 其主要原因是马铃薯生全粉不含面筋, 故加水形成的粉团的稳定时间极其短, 所以计算得到的变异系数略大。然而表 2 中样品的 α 、 β 和 γ 指标的变异系数数值非常大, 甚至有样品的变异系数达到了 -141%, 数值非常不稳定, 这可能是由于软件计算曲线各部分斜率的计算公式不适用与马铃薯全粉检测, 所以这 3 个指标将不作为马铃薯全粉流变学特性测试结果的评价指标。

表1 Maxolab 曲线各检测指标的平均标准差

Table 1 Mean standard deviation of test indexes of Mixolab curves

	标准差 σ											平均值	重复性限=标准差 $\times 2.77$
	B01	B02	B03	B04	B05	B06	B07	B08	B09	B10	B11		
吸水率	0.28	0.00	0.21	0.00	0.00	0.00	0.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.20
C1/Nm	0.14	0.13	0.01	0.06	0.07	0.01	0.01	0.06	0.01	0.01	0.02	0.05	0.13
Cs/Nm	0.03	0.01	0.01	0.00	0.01	0.07	0.02	0.01	0.05	0.03	0.00	0.02	0.06
C2/Nm	0.01	0.00	0.01	0.02	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.02
C3/Nm	0.17	0.02	0.08	0.19	0.06	0.12	0.03	0.07	0.18	0.04	0.01	0.09	0.24
C4/Nm	0.04	0.11	0.06	0.01	0.42	0.02	0.00	0.07	0.02	0.03	0.03	0.07	0.20
C5/Nm	0.14	0.17	0.00	0.29	0.10	0.05	0.00	0.02	0.01	0.08	0.02	0.08	0.22
C1 温度/ $^{\circ}\text{C}$	1.34	0.85	0.28	0.42	0.64	0.07	0.07	1.20	1.06	0.78	0.78	0.68	1.89
Cs 温度/ $^{\circ}\text{C}$	1.27	0.57	0.14	0.49	0.99	0.07	0.14	0.99	0.92	0.28	0.35	0.57	1.57
C2 温度/ $^{\circ}\text{C}$	0.49	0.57	0.85	0.49	1.34	0.14	0.71	0.21	0.64	0.35	0.35	0.56	1.55
C3 温度/ $^{\circ}\text{C}$	0.42	0.07	1.63	0.21	1.41	0.42	0.92	0.14	0.14	0.71	0.35	0.58	1.62
C4 温度/ $^{\circ}\text{C}$	0.21	0.85	0.64	0.14	6.43	0.21	0.57	0.07	0.00	0.49	0.00	0.87	2.42
C5 温度/ $^{\circ}\text{C}$	2.90	0.42	0.92	1.70	0.71	0.35	0.28	0.21	0.92	0.07	0.21	0.79	2.19
形成时间/min	0.27	0.12	0.06	0.21	0.10	0.06	0.37	0.20	0.19	0.10	0.23	0.17	0.48
稳定时间/min	0.28	0.12	0.35	0.16	0.05	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.09	0.25
C2 时间/min	0.049	0.276	0.417	0.212	0.177	0.269	0.057	0.163	0.021	0.184	0.021	0.17	0.46
α	0.003	0.010	0.001	0.003	0.008	0.001	0.004	0.004	0.016	0.001	0.004	0.005	0.014
β	0.443	0.049	0.033	0.099	0.041	0.003	0.020	0.023	0.037	0.021	0.014	0.071	0.197
γ	0.132	0.042	0.107	0.096	0.102	0.057	0.031	0.037	0.058	0.013	0.065	0.067	0.186
曲线测试点平均标准偏差	0.091	0.087	0.084	0.085	0.040	0.053	0.024	0.057	0.035	0.028	0.027	0.055	-

表 2 Mixolab 曲线各检测指标的平均变异系数 CV

Table 2 Average coefficient of variation CV (%) of test indexes of Mixolab curves

	B01	B02	B03	B04	B05	B06	B07	B08	B09	B10	B11	平均值
吸水率	0.5	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
C1/Nm	12.9	11.8	0.7	5.2	6.1	0.6	0.6	5.4	0.7	0.6	2.0	4.2
Cs/Nm	7.8	3.5	2.3	0.5	2.8	19.8	8.4	1.8	11.6	10.4	1.1	6.4
C2/Nm	6.7	0.8	3.6	11.5	3.1	0.3	4.0	2.1	3.0	4.3	1.4	3.7
C3/Nm	4.9	0.6	1.9	5.6	1.4	3.6	0.8	1.8	5.0	1.1	0.2	2.4
C4/Nm	0.9	3.4	1.8	0.4	14.0	0.8	0.0	2.4	0.9	1.2	1.1	2.5
C5/Nm	2.8	3.5	0.0	6.9	2.5	1.1	0.0	0.5	0.2	2.0	0.6	1.8
C1 温度/°C	4.2	2.7	0.9	1.3	2.0	0.2	0.2	3.8	3.5	2.5	2.6	2.2
Cs 温度/°C	4.0	1.8	0.5	1.6	3.1	0.2	0.5	3.1	3.0	0.9	1.1	1.8
C2 温度/°C	0.8	0.9	1.5	0.8	2.4	0.2	1.2	0.4	1.1	0.6	0.7	1.0
C3 温度/°C	0.6	0.1	2.1	0.3	1.9	0.6	1.2	0.2	0.2	0.9	0.5	0.8
C4 温度/°C	0.2	1.0	0.7	0.2	7.8	0.2	0.7	0.1	0.0	0.6	0.0	1.0
C5 温度/°C	4.7	0.7	1.5	2.9	1.2	0.6	0.5	0.3	1.5	0.1	0.4	1.3
形成时间/min	20.5	11.1	5.7	22.2	9.4	10.5	49.7	16.4	20.9	16.5	27.9	19.2
稳定时间/min	29.8	15.7	44.2	17.8	5.1	12.9	0.0	11.9	0.0	7.1	0.0	13.1
C2 时间/min	0.3	1.5	2.2	1.1	1.0	1.4	0.3	0.9	0.1	0.9	0.1	0.9
α	-70.7	-66.0	-141.4	-15.7	-42.4	-15.7	-47.1	-28.3	-44.4	-47.1	-60.6	-53.0
β	133.7	86.8	141.4	41.2	33.3	2.6	21.1	26.3	22.7	5.8	15.0	48.0
γ	222.9	-92.2	-69.8	-300.5	-58.5	-134.7	-35.4	-34.7	-92.0	254.6	135.5	-19.0
曲线测试点平均	6.13	5.85	6.18	3.67	2.16	7.00	2.83	4.67	3.34	2.63	2.55	4.27
变异系数 CV%												

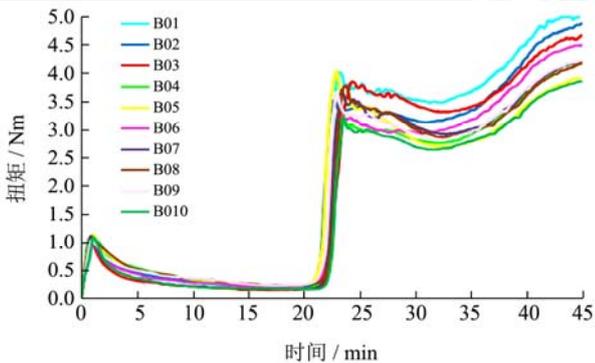


图 2 B01~B10 样品的 Mixolab 曲线
Fig.2 Mixolab curves of samples B01~B10

2.2 不同品种马铃薯生全粉的流变特性的差异

为了排除不同磨粉方法对样品检测结果的干扰，本文的分析不包含 B11 号样品的测试结果，即只分析样品 B01~B10 测试结果间的差异，每个样品的测试曲线和指标均是由 2 次重复测试的平均值计算得到。10 个样品的测试曲线见图 2。

图 2 显示了不同的马铃薯品种制成的马铃薯生全

粉的 Mixolab 曲线，在 C2 值之前和 C2 值之后都有较大的形状差异。我们把 C2 值之前称为马铃薯生全粉加水成团阶段，把 C2 值之后称为马铃薯粉团的熟化阶段。下面分别讨论这两个阶段，马铃薯品种间测试结果的差异。

2.2.1 马铃薯生全粉加水成团特性分析

表 3 显示了马铃薯生全粉阶段的主要检测指标，包括吸水率、Cs 稠度值和 C2 稠度值，形成时间、稳定时间和总弱化值。

吸水率是谷物粉加水混合成团，达到目标稠度（特定软硬度）的加水量。吸水率直接决定谷物产品加工的经济性。本实验中的不同品种的马铃薯生全粉的吸水率在 49.7%~55.4% 之间，对比表 3 中吸水率重复性限值 0.2%，可以看到品种间的吸水率差异较大。B09 号马铃薯全粉表现出了最强的吸水能力，B08 号样品吸水率最低。

形成时间反映粉团加水团的快慢。稳定时间是指在揉和过程中维持在一个较高稠度值的连续时间。马铃薯生全粉测得的形成时间和稳定时间很短（小于 2 min），这是由于马铃薯中虽然也含有丰富的蛋白质，且具有一定的类面筋蛋白，但其仍然不同于小麦

面筋,不能形成与小麦粉一样坚固的面筋网络结构。也就是说马铃薯生全粉相对面粉成形性差,成团的稳定性不够,但不同马铃薯品种之间仍然存在明显差异,非常值得注意。B08 样品的形成时间和稳定时间均较

长,B06 样品的形成时间和稳定时间均最短。Mixolab 检测出不同品种马铃薯生全粉在形成时间和稳定时间上的变异系数均较大,说明了不同品种的马铃薯蛋白成分上存在的较大差别。

表 3 B01~B10 样品的加水成团阶段的主要测试指标

Table 3 Test indexes of samples B01~B10 at the dough formation phase

样品名称	吸水率/%	C1/Nm 稠度最大值	Cs/Nm 8 min 扭矩值	C2/Nm 稠度最小值	形成 时间/min	稳定 时间/min	C1~C2/Nm 总弱化值
B01	51.9	1.10	0.33	0.18	1.31	0.95	0.92
B02	50.4	1.08	0.36	0.18	1.09	0.77	0.90
B03	52.7	1.05	0.24	0.16	0.99	0.80	0.89
B04	55	1.08	0.42	0.19	0.93	0.92	0.90
B05	53	1.15	0.40	0.23	1.05	0.97	0.93
B06	54.7	1.14	0.33	0.21	0.90	0.54	0.92
B07	53.2	1.13	0.26	0.18	0.94	0.74	0.95
B08	49.7	1.05	0.42	0.23	1.26	1.21	0.82
B09	55.4	1.07	0.40	0.24	0.95	0.92	0.83
B10	54.7	1.10	0.25	0.17	1.15	0.60	0.93
最大值	55.4	1.15	0.4225	0.238	1.31	1.21	0.95
最小值	49.7	1.05	0.244	0.156	0.90	0.54	0.82
平均值	53.1	1.09	0.34	0.19	1.06	0.84	0.90
标准差	1.96	0.04	0.07	0.03	0.14	0.19	0.04
CV/%	3.7	3.3	20.5	15.1	13.7	23.2	4.9

总弱化值反映了马铃薯粉团在搅拌和轻微加热状态下,粉团的稀化特性,是恒温弱化和升温弱化和之。B08 和 B09 马铃薯生全粉的 C1~C2 值最小,说明这两个品种的马铃薯粉团相对于其他品种不容易稀化,相反地,B01、B05、B06、B07 和 B10 在搅拌过程中比较容易稀化。

总之,马铃薯生全粉的稳定时间短,弱化程度大,这些对于制作马铃薯制品是非常不利的,可能会出现成型难,面团易断裂等问题。

2.2.2 马铃薯生全粉粉团熟化阶段特性分析

表 4 显示了马铃薯生全粉的粉团加热熟化阶段的主要检测指标,包括起始糊化时间、起始糊化温度,峰值粘度、最低粘度、回生终点粘度、粘度崩解值和回生值。

起始糊化时间和起始糊化温度反映样品发生糊化的难易程度,起始糊化温度越低,糊化时间越早,水分越容易侵入淀粉分子间,形成无定型态,即糊化状态。其中 B10 品种最难糊化,起始糊化时间再晚,超过 20 min,糊化温度分别为 63.1 °C。相反,B05 号品种最容易糊化,糊化的时间最早(18.33 min),且糊化温度最低(56.6 °C)。

不同品种马铃薯生全粉样品的峰值粘度、最低粘

度和粘度崩解值结果见表 6。对比法国肖邦公司出版的 Mixolab 应用手册^[5]中记录的小麦面粉的粘度测试结果(C3 值<2.27, C4 值小于 2.12, C5 值小于 3.73),可以看到,马铃薯生全粉各个粘度参数均明显高于小麦面粉的粘度指标。也就是说,向小麦面粉中添加一定比例的马铃薯生全粉,会使得混合粉的峰值粘度、最低粘度以及回生终点粘度值增大。不同品种马铃薯生全粉测试的峰值粘度 C3 和最低粘度 C4 的变异系数分别是 8.6%和 10.5%,其中 B01 品种的 C3 和 C4 粘度值均最大,B10 品种的 C3 和 C4 粘度值均最小。粘度崩解值,即峰值粘度与保持粘度的差值,反映谷物热粘度的稳定性。不同马铃薯品种测得崩解值的变异系数高达 31.9%,表明不同品种间的崩解值差异极为显著。其中 B08 品种的热粘度稳定性最差,B01 品种的热粘度稳定性最好。

回生终点值 C5 反映样品的最终冷粘度,冷粘度越高,说明易于凝沉;回生值 C5-C4 的大小可以反映样品冷粘度的稳定性,数值越高,表示随着时间的延长,冷粘度的增大特性。回生终点值得变异为 9.1%,其中最大 B01,最小为 B10。回生值的变异系数为 16.4%,其中 B02 回生值最大,B05 的回生值最小。终点冷粘度高,回生值大的样品,如 B02 样品,在加

工马铃薯馒头和马铃薯面条等制品时更容易发生回生，应设法对此进行改善。

表 4 B01~B10 样品的粉团熟化阶段的主要测试指标

Table 4 Test indexes of samples B01~B10 at the dough stability phase

样品名称	C2 时间/min 起始糊化时间	C2 温度/°C 起始糊化温度	C3/Nm 峰值粘度	C4/Nm 最低粘度	C5/Nm 回生终点粘度	C3~C4/Nm 粘度崩解值	C5~C4/Nm 回生值
B01	18.57	58.5	4.15	3.73	5.08	0.42	1.36
B02	18.63	59.6	3.68	3.12	4.87	0.55	1.75
B03	18.73	57.4	4.05	3.30	4.67	0.75	1.37
B04	19.68	60.5	3.39	2.75	4.22	0.63	1.46
B05	18.33	56.6	4.04	3.03	3.92	1.01	0.89
B06	19.01	56.9	3.36	2.93	4.48	0.42	1.54
B07	19.14	59.2	3.74	2.91	4.19	0.83	1.28
B08	18.87	59.2	3.92	2.86	4.18	1.06	1.32
B09	19.12	59.5	3.67	2.80	4.24	0.87	1.43
B10	20.40	63.1	3.23	2.63	3.86	0.59	1.22
最大值	20.40	63.1	4.15	3.73	5.08	1.06	1.75
最小值	18.33	56.6	3.23	2.63	3.86	0.42	0.89
平均值	19.05	59.0	3.72	3.01	4.37	0.71	1.36
标准差	0.61	1.90	0.32	0.32	0.40	0.23	0.22
CV%	3.2	3.2	8.6	10.5	9.1	31.9	16.4

2.2.3 马铃薯生全粉的 Mixolab 目标剖面图指数

表 5 B01~B10 样品 Mixolab 测试的目标剖面图指数

Table 5 Indexes of target profile of samples B01~B10 tested by Mixolab

样品名称	吸水率	揉混	面筋强度+	粘度	抗淀粉酶	回生
B01	1	1	6	9	8	8
B02	1	1	6	9	8	8
B03	1	1	6	9	7	8
B04	2	1	6	9	8	8
B05	1	1	6	9	5	7
B06	1	0	6	9	7	8
B07	1	0	6	9	5	7
B08	0	1	6	9	5	7
B09	2	1	6	9	8	8
B10	1	1	6	9	8	8
最大值	2	1	6	9	8	8
最小值	0	0	6	9	5	7

B01~B10 样品的 2 次测试结果的目标剖面图指数值的平均结果见表 5。由表 5 可以看到，不同品种马铃薯生全粉各个剖面图指数的范围均较小，尤其是面筋强度指数和粘度指数，所有测试样品的指数均相同，且粘度值始终是该象限的最大值 9，同时吸水率和揉混指数均出现了象限的最小值 0。说明所有马铃薯生

全粉样品的糊化峰值粘度均大于制定粘度指数坐标轴时采集的面粉粘度数据库的最大值，个别样品的吸水率和稳定时间等参数也小于制定吸水率指数坐标轴和揉混指数坐标轴时采集面粉吸水率和稳定时间等数据的最小值。因而，目前软件的目标指数剖面图功能不适用于纯的马铃薯生全粉的检测。因而有必要开发一个更适用于马铃薯生全粉制品品质控制的全新的指数剖面图。

2.3 不同的研磨工艺对马铃薯生全粉品质的影响

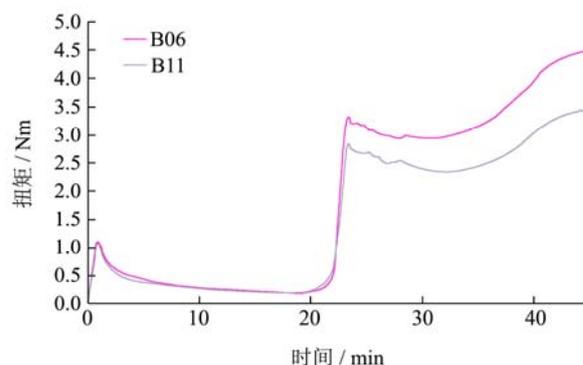


图 3 对比 B06 和 B11 样品的 Mixolab 曲线

Fig.3 Comparison of Mixolab curves between B06 and B11

由于 B11 和 B06 两个样品是同一种马铃薯品种采用两种不同的研磨工艺得到的 2 个样品，那么对比着

两个测试样品的结果, 就可以初步了解不同的研磨工艺对马铃薯生全粉品质的影响。图 3 是两个样品的 Mixolab 测试曲线, 表 6 列出了主要测试指标的比对。

由图 3 可以看到, 两种研磨工艺对粉团熟化后的粘度影响更大, 其中 B06 的粘度曲线明显高于 B11 的粘度曲线。表 6 中的数据进一步显示了不同研磨方法在 C3、C4 和 C5 粘度上的较大差别, 同时研磨方法

对粘度崩解值和回生值的影响也较大。值得注意的是, 研磨方法对吸水率的影响也较为明显, B11 的研磨法使样品的吸水率提高了 8.8%。但不同研磨方法对粉团加水成型时的稠度指标 (Cs 和 C2) 以及形成时间的影响均不大, 但 B11 研磨法略微提高了马铃薯生全粉粉团的稳定性, 两个样品的稳定时间的差值大于表 3 中稳定时间的重复性限 0.25 min。

表 6 对比 B06 和 B11 样品的 Mixolab 主要测试指标

Table 6 Comparison of main test indexes of Mixolab curves between B06 and B11

样品名称	吸水率/%	Cs/Nm	C2/Nm	C3/Nm	C4/Nm	C5/Nm	C2 温度/°C
B06	54.7	0.33	0.21	3.36	2.93	4.48	56.9
B11	63.5	0.31	0.21	2.87	2.33	3.46	53.3

样品名称	形成时间/min	稳定时间/min	C2 时间/min	C1~C2/Nm 弱化值	C3~C4/Nm 粘度崩解值	C5~C4/Nm 回生值
B06	0.90	0.54	19.01	0.92	0.42	1.54
B11	0.92	0.84	17.59	0.87	0.54	1.13

2.4 马铃薯生全粉, 雪花粉和标准小麦面粉对比

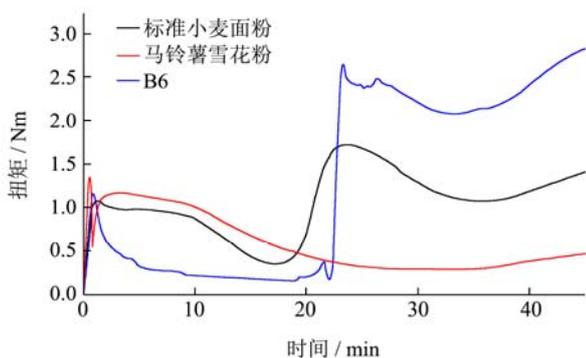


图 4 比较马铃薯生全粉、雪花粉和标准面粉的 Mixolab 曲线

Fig.4 Comparison of Mixolab curves of raw dehydrated potato flour, potato flakes, and standard wheat flour

如图 4 所示, 标准小麦面粉呈现出典型的 Mixolab 热-机械性能曲线^[8]: 混合初始阶段面筋形成扭矩快速增加到 C1 稠度最大值, 随后的连续混合阶段使面筋迅速弱化扭矩降低到 C2 稠度最小值, 而后的持续升温使淀粉糊化之后扭矩增加到 C3 峰值粘度, 在维持高温阶段由于糊化淀粉在淀粉酶作用下发生水解扭矩降低到 C4 最低粘度, 随后的降温阶段扭矩增加到 C5 回生终点粘度。

马铃薯雪花粉在混合初始阶段扭矩快速增加, 随后又快速降低再升高, 还能像标准小麦面粉一样扭矩维持一段时间。但二者存在本质上的差异, 小麦面粉是由于蛋白当中的巯基生成二硫键形成网络结构, 而雪花粉跟蛋白交联无关, 因为雪花粉当中的蛋白质已

经变性, 而真正的原因是雪花粉中的淀粉与预糊化淀粉的特性相似, 即在冷水中溶解搅拌就可以起到增稠的作用。后期升温过程原本是淀粉糊化粘度增加扭矩升高的阶段, 但由于雪花粉当中的淀粉已经糊化, 因此粘度不再增加扭矩也没有升高。

混合初始阶段, 马铃薯生全粉的扭矩会快速降低, 证明了新鲜马铃薯块茎当中含有巯基的半胱氨酸含量低, 但该缺陷可以通过添加谷朊粉 (活性面筋) 来改善。在升温阶段, 生全粉面团的粘度快速增加, 扭矩超过标准面粉峰值粘度 1.72 Nm, 该性质可以通过添加食品添加剂 (如淀粉酶) 来降低。通过添加食品添加剂改善马铃薯生全粉的加工性能, 制造出无需添加小麦面粉的马铃薯主食化产品馒头、面条和面包等是可能的。

马铃薯雪花粉的吸水率高达 140%, 而马铃薯生全粉的吸水率大约为 50%, 与标准小麦面粉的 57.3% 比较接近。从 Mixolab 曲线可以看出马铃薯雪花粉的前期加工性能虽然与小麦面粉类似, 但后期与粘度相关的加工性能已经完全丧失, 在馒头和面条等主食化产品当中添加 (部分替代面粉) 的做法相当于填充剂, 调节了小麦面粉中面筋的含量, 但同时也对与粘度相关加工性能造成不可逆的影响。具备这种性质的食品原料其实更适合应用于饼干和蛋糕等要求低面筋含量的焙烤类产品的加工, 在馒头、面条和面包等产品当中的添加量一定会受到限制, 否则会对品质造成不良影响。

目前市场上已有的马铃薯全粉是以新鲜马铃薯为原料, 经清洗、去皮、挑选、切片、漂洗、预煮、冷却、蒸煮和捣泥等工艺过程, 经高温干燥脱水而得到

的细颗粒状、片屑状或粉末状的产品。多次的高温处理，马铃薯全粉已经成为一种熟化全粉。其主要成分马铃薯淀粉已经糊化，蛋白质已经变性，将这种“熟”全粉添加到面粉当中，会对面团的面筋结构、流变学特性和机械性能等加工特性造成不利的影响^[9]。目前的实验结果表明，馒头当中马铃薯（熟）全粉的添加量可达到40%（实际上在不添加另外谷朊粉等添加剂的情况下，熟全粉的添加量一般在20%左右），面条中马铃薯（熟）全粉的添加量可以达到35%，继续增加马铃薯全粉的添加量会导致面条易断条、馒头成型难、饣发难等问题。实际情况更糟糕。因此马铃薯（熟）全粉在面团中制作面条和馒头的添加量是有限的。而且高温情况下加工的马铃薯（熟）全粉中的维生素破坏比较严重，对马铃薯的营养品质有一定的影响。

曾凡逵等^[9]在发明专利“冷冻干燥法制备马铃薯全粉的工艺”中提到，通过冷冻干燥法制备而成马铃薯生全粉，能保留原来马铃薯蛋白的生物活性，某些特殊的马铃薯品种也含有类面筋蛋白，在揉面过程中会发生蛋白质的交联形成类似的面筋网络结构。因此，将马铃薯生全粉尽快的应用到马铃薯面条和马铃薯馒头的加工中去，对于推进马铃薯主食化生产具有重要的意义。当然工业化真空冷冻干燥的成本比加工雪花粉的成本还要高，但低温干燥方式有很多种，实验室采用真空冷冻干燥制备马铃薯生全粉更有利于研究其加工性能。

2015年，在第18届欧洲食品化学会议上，曾凡逵等^[10]对比了小麦面粉和马铃薯雪花粉加工性能的差异，并从食品化学角度分析了形成小麦面粉特殊黏弹性的原因，指出了推动中国马铃薯主食化需要开发新型半成品原料的必要性。马铃薯生全粉是指采用低温条件（ $\leq 70\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，或者短时间高温）脱水干燥制备出来的，蛋白质未发生变性、淀粉未糊化（颗粒结构完整）、其他热敏营养物质破坏小，加工性能优良的粉末状马铃薯制品。除了皮，马铃薯生全粉将马铃薯块茎当中其余的所有干物质都保留了下来，将马铃薯块茎破碎后进行挤压快速脱水再干燥得到的马铃薯脱水产品会出现水溶性营养物质流失，因此不属于马铃薯生全粉。

3 结论

Mixolab 混合实验仪一次测试即可得到同时反映谷物粉的粉质特性和粘度特性的相关曲线和参数。Mixolab 检测马铃薯生全粉流变特性的重复性结果显示：各样品的2次测试曲线的重合度高，全曲线的平均变异系数小于5%。且 Mixolab 各检测指标的重复性

也较好，除了形成时间和稳定时间的重复性变异系数为19.2和13.1以外，其他检测指标的重复性变异系数均小于5%。最终得到的适合评价马铃薯生全粉品质特性的指标有：吸水率、形成时间、稳定时间、稠度最小值、弱化值、峰值粘度、最低粘度、回生终点粘度、粘度崩解值和回生值。通过对比 B01~B10 这10个不同品种的马铃薯生全粉样品检测结果，看到不同品种在加水成团特性以及升温后的熟化特性上各个检测指标均具有较大差别。但总的来说，马铃薯生全粉的吸水率低，形成时间和稳定时间均较小，弱化度高，说明直接采用马铃薯生全粉制作马铃薯面条或马铃薯馒头的加工难度较大。在加热熟化阶段，马铃薯生全粉的峰值粘度、最低粘度和终点粘度均较大，也会对马铃薯制品的口感和回生特性造成影响。因而为了获得马铃薯生全粉馒头和面条，也需要向其中掺入具有面筋蛋白的小麦面粉或直接添加谷朊粉来弥补马铃薯生全粉加工品质的不足。此外，通过对比 B06 和 B10 两个样品，了解到不同马铃薯生全粉制作的研磨工艺将极大的影响样品的吸水率和各粘度指标，但对马铃薯生全粉团的稠度影响不大。对比小麦标准面粉、马铃薯生全粉和马铃薯熟全粉的热-机械性能曲线发现：马铃薯熟全粉与粘度有关的加工性能已基本丧失，在马铃薯主食化产品开发中只是起到了填充剂的作用，而马铃薯生全粉的加工性能可以通过食品添加剂来改善，制造出无需添加小麦面粉的纯马铃薯主食化产品馒头、面条和面包是可能的。

参考文献

- [1] Singh Jaspreet, Lovedeep Kaur. Advances in potato chemistry and technology (Second Edition) [M]. Academic press, 2016
- [2] Huang G. China to grow and eat more potatoes [J]. Frontiers in Ecology and the Environment. 2015, 13(2): 68-68
- [3] Yáñez E, Ballester D, Wuth H, et al. Potato flour as partial replacement of wheat flour in bread: baking studies and nutritional value of bread containing graded levels of potato flour [J]. International Journal of Food Science & Technology, 2007, 16(3): 291-298
- [4] Ijah U J, Auta H S, Aduloju M O, et al. Microbiological, nutritional, and sensory quality of bread produced from wheat and potato flour blends [J]. International Journal of Food Science & Technology, 2014
- [5] Dubat A, Boinot N. Mixolab applications handbook. rheological and enzymes analyses. chopin technology, villeneuve-la-garenne, france, 2012

-
- [6] 唐晓凯,于卉.谷物品质分析专家-Mixolab 混合实验仪[J].现代面粉工业,2012,5:19-22
TANG Xiao-kai, YU Hui. Grain quality analysis experts-Mixolab [J]. Modern Flour Milling Industry, 2012, 5: 19-22
- [7] 刘俊飞,汤晓智,扈战强,等.外源添加面筋蛋白对小麦面团热机械学和动态流变学特性的影响研究[J].现代食品科技,2015,31(2):133-137
LIU Jun-fei, TANG Xiao-zhi, HU Zhan-qiang, et al. Effect of exogenous wheat gluten on the thermomechanical and dynamic rheological properties of wheat flour dough [J]. Modern Food Science and Technology, 2015, 31(2): 133-137
- [8] Baek J J, Lee S. Functional characterization of brown rice flour in an extruded noodle system [J]. Journal of the Korean Society for Applied Biological Chemistry, 2014, 57(4): 435-440
- [9] 曾凡逵,刘刚,林罡.冷冻干燥法制备马铃薯全粉的工艺:中国,104872583.A [P].2015-9-2
ZENG Fan-kui, LIU Gang, LIN Gang. Preparation of raw dehydrated potato flour by freeze drying: Chinese patent, 104872583.A [P]. 2015-9-2
- [10] Zeng F K, Liu G. China's turning potato to new staple food needs novel semi-finished ingredients [C]// Euro. Food Chem. XVIII conference. Madrid, Spain, 2015

现代食品科技