

马铃薯淀粉物化特性分析及其对马铃薯热干面品质影响

蔡沙, 施建斌, 隋勇, 何建军, 陈学玲, 范传会, 蔡芳, 梅新

(湖北省农业科学院农产品加工与核农技术研究所, 湖北武汉 430064)

摘要: 为研究马铃薯淀粉的物化特性, 以马铃薯为试验原料并对其淀粉进行提取, 并探讨不同含量马铃薯淀粉对混粉物化特性以及生鲜马铃薯热干面和干制马铃薯热干面品质的影响。结果表明, 马铃薯中淀粉含量为 73.80%, 马铃薯淀粉中直链淀粉含量为 28.23%, 支链淀粉含量为 71.70%; 马铃薯淀粉中快消化淀粉(RDS)、慢消化淀粉(SDS)和抗消化淀粉(RS)含量分别为 20.29%、15.03%和 64.68%。马铃薯淀粉添加量在 60%~70%时, 混粉的持水性、吸水膨胀性和粘度值较高; 马铃薯淀粉含量为 70%~80%时, 能较好的改善生鲜马铃薯热干面的蒸煮特性和质构特性; 马铃薯淀粉含量在 70%时, 干制马铃薯热干面的复水特性最好; 随着马铃薯热干面中马铃薯淀粉含量的增加, 干制热干面更易消化。综上所述, 马铃薯淀粉的建议添加量为 70%。

关键词: 马铃薯淀粉; 马铃薯热干面; 蒸煮特性; 质构特性; 消化特性; 复水特性

文章编号: 1673-9078(2019)01-72-81

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2019.1.011

Physicochemical Properties of Potato Starch and Its Influence on the Quality of Potato Hot-and-dry Noodles

CAI Sha, SHI Jian-bin, SUI Yong, HE Jian-jun, CHEN Xue-ling, FAN Chuan-hui, CAI Fang, MEI Xin

(Institute of Agricultural Product Processing and Nuclear-agricultural Technology, Hubei Academy of Agricultural Science, Wuhan 430064, China)

Abstract: In order to study the physicochemical characteristics of potato starch, the influence of potato starch mixed powder with different content of potato starch on the quality of fresh or dry potato hot-and-dry noodles was investigated using potato as raw materials. The results showed that the content of starch in the potato was 73.80%. The content of amylose and amylopectin in potato starch was 28.23% and 71.70% respectively. The content of RDS, SDS and RS in potato starch was 20.29%, 15.03% and 64.68% respectively. When the content of potato starch was 60%~70%, the water-holding capacity, water-absorbing expansibility and viscosity of the mixed powder were higher. The cooking characteristics and texture characteristics of fresh potato hot-and-dry noodles were improved when the content of potato starch was 70%~80%. For drying potato hot-and-dry noodles, the rehydration characteristics was the best when the content of potato starch was 70%. This study provided the theoretical basis for the application of potato starch to potato hot-and-dry noodles production. Hot-and-dry noodles were easier to digest with the increase of the potato starch content in potato hot-and-dry noodles. In conclusion, the suggested addition of potato starch was 70%.

Key words: potato starch; potato hot-and-dry noodles; cooking characteristics; texture characteristics; digestion characteristics; rehydration characteristics

收稿日期: 2018-09-05

基金项目: 湖北省技术创新专项(重大项目)(2016ABA085); 武汉市晨光计划项目(2016070204010109); 湖北省农业科技创新中心项目(2016-620-000-001-035)

作者简介: 蔡沙(1989-), 女, 助理研究员, 研究方向: 农产品加工与副产物综合利用

通讯作者: 梅新(1978-), 男, 博士, 副研究员, 研究方向: 农产品加工与副产物综合利用

据FAO统计, 2016年我国马铃薯种植面积为581.51万 hm^2 , 总产量为9912.24万 t ^[1]。马铃薯营养丰富, 粮菜兼食, 淀粉含量高, 可以为人们提供充足的碳水化合物, 满足日常所需。马铃薯淀粉是重要的植物淀粉, 生产量和商品量在所有植物淀粉中居第二位, 其支链淀粉分子上结合有磷酸基, 具有糊化温度低、吸水力强等特点, 能有效提高面团的弹性, 改善面团的流变性, 提高面条的复水性等功能^[2]。

然而,目前我国马铃薯大多作为鲜食,马铃薯用于加工的比例仍处于较低状态,目前,我国马铃薯加工比例约为10%,远低于世界发达国家50%的高比例;同时,加工产品附加值低,以淀粉为主要原料的粉条、粉丝等粗加工产品占比高达90%以上,这些粗加工产品经济效益低,销售也面临较大困难^[3]。如何顺应居民饮食习惯和马铃薯消费结构的变化,将马铃薯鲜食比例逐年降低,加工制品的消费比例不断提高,是提升马铃薯产业整体发展能力的一项重要工作。在前人的研究中,徐芬等^[4]研究发现,小麦蛋白、花生蛋白、大豆蛋白均可显著改善马铃薯面条的食用品质,降低其蒸煮损失,增强其拉伸阻力、硬度、粘合性和咀嚼性。王丽等^[5]分析研究了11个品种马铃薯全粉面条的品质特性,采用主成分分析对11个品种面条品质特性进行分析及综合评价。

热干面是武汉乃至湖北地区传统特色主食,是一种以面粉为主要原料的碱面^[6]。目前,根据食用方法和保质期不同,市面上流通的热干面产品分为两种,一种是即食鲜湿熟面;另一种是方便型热干面。热干面压延成型后,经掸面后得即食鲜湿熟面,该面可立即拌料食用,亦可沥水后进行保鲜处理,经再次掸面后拌料食用。热干面压延成型后,经熟化,脱水等工艺,得方便型热干面。随着我国居民消费水平的提升,人们对面条种类和营养价值的需求更加多元化,2013年国家推出马铃薯主食化战略,热干面作为武汉市名片及特色主食,是湖北省和武汉市马铃薯主食化推进的重要产品。本研究对马铃薯中淀粉进行提取,对其基本成分的物化特性进行分析,并添加不同含量的马铃薯淀粉制作热干面,以改善马铃薯热干面的品质,丰富马铃薯主食产品的多样化,满足消费者的市场需求,同时为马铃薯在产品开发方面开拓更宽广的市场。

$$(\text{直})\text{支链淀粉含量}(\%) = \frac{\text{从标曲中得到的}(\text{直})\text{支链淀粉含量} \times 100}{15 \times \text{样品质量}} \times 100\%$$

1.3.3 马铃薯淀粉物化特性分析

1.3.3.1 膨润力与溶解度测定

参照黄洁^[8]等的测定方法并作适当修改,溶解度S,膨润力B的计算公式如下:

$$S = \frac{\text{上清液蒸干至恒重后质量}}{\text{样品质量}} \times 100\%$$

$$B = \frac{\text{离心后沉淀物质量}}{\text{原样品质量} \times (1 - S)}$$

1.3.3.2 马铃薯淀粉透明度测定

参照史俊丽^[9]的方法进行测定。

1.3.3.3 马铃薯淀粉碘蓝值的测定

参照史俊丽^[9]、程科^[10]的方法进行测定。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

市售马铃薯:购于沃尔玛武汉南湖花园店;小麦粉购自中粮面业营销管理(北京)有限公司;谷朊粉购自郑州特正商贸有限公司;马铃薯膳食纤维和马铃薯蛋白为试验室提取制备。

α -淀粉酶,北京双旋微生物培养基制品厂;糖化酶、胰酶、胰蛋白酶,上海源叶生物科技有限公司;胃蛋白酶,美国Amresco公司。硫酸铜、硫酸钾、酒石酸钾钠等其他试剂均为分析纯。

1.2 仪器与设备

TA.XT plus 质构仪:Stable Micro Systems; DV2T 粘度计:美国Brookfield公司;UV/VIS-2800 分光光度计:上海尤尼科仪器有限公司。

1.3 方法

1.3.1 马铃薯淀粉提取工艺

马铃薯经清洗后切碎、护色,用磨浆机磨浆后沉淀,水洗淀粉、烘干,手捏碎后过筛,即马铃薯淀粉。

1.3.2 马铃薯淀粉基本成分分析

马铃薯淀粉中水分、灰分、淀粉、蛋白质含量分别参照GB/T 5009.3-2010、GB/T5009.4-2003、GB/T 5009.9-2008、GB/5009.5-2010进行测定。可溶性糖采用苯酚-硫酸法进行测定。

直链和支链淀粉含量的测定:标准曲线的制作参照曾凡逵^[7]的方法进行,标准曲线方程: $y=0.0776x-0.0765$ ($R^2=0.9985$)。样品中直链和支链淀粉含量的测定参照曾凡逵^[7]的方法进行,计算公式如下:

1.3.3.4 马铃薯淀粉平均聚合度的测定

参照杨光^[11]、Sanglick^[12]等人的方法进行测定。称取0.500 g淀粉样品,溶解于2 mol/L的KOH溶液中,充分溶解,再用HCl调pH至中性,定容至50 mL。取1 mL溶液用3,5-二硝基水杨酸法测定还原末端的数量,得到数据GR(以葡萄糖的量表示)。

$$\text{平均聚合度DP} = \frac{1.1 \times W}{G_R \times 50}$$

式中:W为淀粉样品的质量,mg;1.1为淀粉换算成葡萄糖的系数。

1.3.3.5 马铃薯淀粉消化特性的测定

参照张习军^[13]、Vida^[14]的方法进行测定。

快速消化淀粉(RDS)计算(在20 min内酶解消化淀粉):

$$RDS = \frac{0.9 \times (G_{20} - G_0)}{\text{样品中淀粉含量}} \times 100\%$$

慢速消化淀粉(SDS)计算(在20 min到120 min内酶解消化淀粉):

$$SDS = \frac{0.9 \times (G_{120} - G_{20})}{\text{样品中淀粉含量}} \times 100\%$$

抗消化淀粉(RS)计算(大于120 min酶解消化的淀粉):

$$RS = 100\% - RDS - SDS$$

式中: G_0 、 G_{20} 和 G_{120} 分别表示水浴酶解0、20和120 min水解液中的葡萄糖含量。

1.3.4 混粉的配制及物化特性分析

1.3.4.1 混粉的配制

配制500 g混粉A,小麦粉与马铃薯蛋白、膳食纤维和淀粉三者混合物按7:3混合,其中这三者混合物中马铃薯蛋白与马铃薯膳食纤维按1:1比例混合,后与马铃薯淀粉混合,马铃薯淀粉所占的比例为40%、50%、60%、70%、80%、90%、100%。再向混粉A中加入20 g谷朊粉、5 g食盐和1.5 g食用碱,充分混合后得到最终的不同马铃薯淀粉含量的混粉。

1.3.4.2 混粉的持水性测定

参照谭瑶瑶^[15]、赵黎平^[16]等人的测定方法并作适当修改。计算公式为:

$$\text{持水性 (g/g)} = \frac{W_2 - W_1}{W_2}$$

1.3.4.3 混粉的吸水膨胀性测定

参照高宇萍^[17]等的试验方法并作适当修改。计算公式为:

$$\text{吸水膨胀性 (mL/g)} = \frac{V_2 - V_1}{W}$$

1.3.4.4 混粉的粘度测定

配制质量浓度为5%的混粉溶液,在恒温水浴锅中(30℃和70℃)搅拌30 min,然后用DV2T粘度计进行测定。

1.3.4.5 混粉热特性测定

参照、Karlsson^[18]、Koo^[19]等人的方法,扫描程序:25℃保持1 min,以10℃/min的速度升至95℃,再以10℃/min的速度降至25℃。

1.3.5 生鲜马铃薯热干面的制作及特性研究

工艺流程:

称样→加水→和面→醒面→压面→切条

操作要点:(1)称取混粉500 g,加水量32%~36%;(2)置于35℃,湿度85%的醒发箱内醒发30 min。

1.3.5.1 生鲜马铃薯热干面的蒸煮特性

参考王乐^[20]、许蒙蒙^[21]等的方法并作适当修改。

计算公式:

$$\text{断条率\%} = \frac{\text{断条数}}{\text{面条总数}} \times 100\%$$

$$\text{吸水率\%} = \frac{m_1 - m_0}{m_0} \times 100\%$$

$$\text{蒸煮损失率\%} = \frac{m_0 - m_2}{m_0} \times 100\%$$

$$m_0 = m \times (100\% - \text{含水率})$$

式中: m -所取生鲜面条质量, g; m_0 -所取面条干重, g; m_1 -煮后面条湿重, g; m_2 -煮后面条干重, g。

1.3.5.2 生鲜马铃薯热干面的质构特性

粘度试验测定: TPA 试验探头型号为: HDP/PFS。模式 Measure Force in Compression, 参数设定 Pre-test Speed 2.0 mm/s; Test Speed 0.8 mm/s; Post-test Speed 0.8 mm/s; Strain 70%; Trigger Type Auto-3 g; 两次压缩之间的时间间隔1 s。每次对每个试样做6次平行试验,求平均值。

剪切试验测定: 探头型号为: A/LKB-F, 模式 Measure Force in Compression, 参数设定 Pre-test Speed 2.0 mm/s; Test Speed 0.8 mm/s; Post-test Speed 0.8 mm/s; Strain 90%; Trigger Type Auto-3 g。每次把3根面条水平放置于载物台上,面条之间要有一定的间隔。每次对每个试样做6次平行试验,求平均值。

拉伸特性的测定: 探头型号为: A/SPR。模式 Measure Force in Extension, 参数设定 Pre-test Speed 2 mm/s; Test Speed 2 mm/s; Post-test Speed 10 mm/s; Trigger Distance 100 mm; Trigger Type Auto-0.5 g。每次将一根面条缠绕固定在两个平行的摩擦轮之间(面条在被拉的过程中不能够松动),上面的轮子匀速的向上拉伸面条,直至面条断裂。每次对每个试样做6次平行试验,求平均值。

1.3.6 干制马铃薯热干面的制作及特性研究

工艺流程: 将生鲜马铃薯热干面沸水煮1 min后,沥干拌入少量香油于50℃下烘干,分别测定烘干后热干面的复水特性,包括复水时间、吸水率和复水后热干面的质构分析。

1.3.6.1 干制马铃薯热干面的复水时间和吸水率

于50℃下烘干,分别测定烘干后热干面的复水时间和吸水率。

复水时间: 取20根长20 cm面条,放入沸腾的蒸馏水中煮,4 min后挑起一根面条,用两块透明玻璃板压挤,以后每隔30 s就挑起一根进行压挤,直至面条中间的白芯消失为止,记录时间,为面条的复水

时间。

吸水率：测定方法同 1.3.5.1，但是沸水煮制的时间不是 1 min，而是其复水时间。

1.3.6.2 干制马铃薯热干面的质构特性

测定方法同 1.3.5.2。

1.3.6.3 干制马铃薯热干面的消化特性

淀粉消化特性测定：参照张习军^[13]等的方法进行测定，标准曲线方程： $y=0.1227x+0.0206$ ($R^2=0.9960$)。

蛋白质消化特性测定：参照苏钰亭^[22]、Chavan^[23]等的方法进行测定。计算公式如下：

$$\text{蛋白质体外消化率} = \frac{N_t}{N_{\text{tot}}} \times 100\%$$

式中： N_t -上清液中含氮量； N_{tot} -样品中总氮量。

1.3.7 数据统计分析

采用spss 17.0统计分析软件对数据进行分析。采用Excel 2013软件对数据进行分析 and 作图，每个样品3次重复实验，结果用平均值±标准差($\bar{x} \pm s$)表示。

2 结果与分析

2.1 马铃薯淀粉基本成分分析

表 1 马铃薯淀粉物化特性

Table 1 Characteristics of potato starch

特性指标	溶解度/%	膨润力/(g/g)	透光率/%	碘蓝值	平均聚合度
数值	15.90±0.13	8.81±0.07	72.10±0.26	0.17±0.01	128.96±0.58

2.2.2 马铃薯淀粉的消化特性分析

马铃薯淀粉中快消化淀粉(RDS)含量为 20.29%，慢消化淀粉(SDS)为 15.03%，抗消化淀粉(RS)为 64.68%。说明未经糊化的马铃薯淀粉中，RS 含量最高，RS 不能被健康人体小肠利用进而提供葡萄糖，但其能在大肠中被肠道内的微生物发酵产生丁酸等短链脂肪酸，有利于有益菌群生长，具有促进肠道蠕动的作用^[28-30]。

2.3 混粉物化特性分析

2.3.1 混粉持水性和吸水膨胀性分析

由图 1 可知，混粉的持水性随着马铃薯淀粉添加量的增加呈先上升后下降的变化趋势，在马铃薯淀粉添加量为 60%时达到最大值，为 2.03 g/g，马铃薯淀粉添加量为 90%时，持水性最小值 1.10 g/g。混粉的吸水膨胀性随着马铃薯淀粉添加量的增加呈逐渐下降的变化趋势，马铃薯淀粉添加量为 40%时，吸水膨胀性最大为 2.22 mL/g，马铃薯淀粉添加量为 90%时，吸水膨胀性最小为 0.72 mL/g。

马铃薯淀粉中蛋白质、水分、灰分和可溶性糖含量分别为 0.11%、14.4%、0.55%和 7.58%；马铃薯淀粉中淀粉含量为 73.80%，其中直链淀粉占 28.23%，支链淀粉占 71.70%。

2.2 马铃薯淀粉特性分析

2.2.1 马铃薯淀粉的物化特性分析

马铃薯淀粉的物化特性如表 1 所示，由表可知，马铃薯淀粉的溶解度为 15.90%，膨润力为 8.81 g/g，马透光率为 72.10%，碘蓝值为 0.17，平均聚合度为 128.96。膨润力和溶解度是淀粉性质的基本指标，体现了淀粉与水的交互作用，膨润力反映淀粉颗粒的吸水特性，而溶解度反映淀粉（主要是直链淀粉和磷酸基团）的溶解特性^[24]。透光率反映的是淀粉的透明度，结果表明马铃薯淀粉的透明度较高，张根生等^[25]测定的马铃薯淀粉透光率为 66.80%，由于马铃薯品种不同，与我们测定的结果相比略小；本试验所测定的马铃薯淀粉碘蓝值为 0.17，碘蓝值反映的是游离淀粉的含量，值越大，表示游离淀粉含量越高^[26]；平均聚合度反映的是直链淀粉分子之间的聚集程度^[27]，而马铃薯淀粉中直链淀粉含量较少，所以聚合度较低。

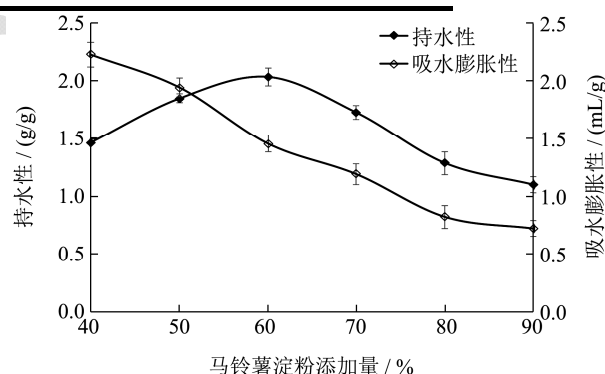


图 1 混粉的持水性和吸水膨胀性

Fig.1 Water holding capacity and water absorption expansibility of mixed powder

2.3.2 混粉粘度分析

混粉的粘度测定结果如图 2 所示，在 70 °C 和 30 °C 时，混粉的粘度都随马铃薯淀粉添加量的增加而呈现逐渐增大的变化趋势，在马铃薯添加量为 90% 时有最大值分别为 15.14 cp 和 17.12 cp，说明马铃薯淀粉越多，混粉粘度越大，这是因为随着马铃薯淀粉添加的增加，马铃薯膳食纤维和蛋白的含量会随之减少，

它们两者可以阻碍淀粉与水结合从而降低粘度,所以马铃薯淀粉越多时,马铃薯膳食纤维和蛋白越少,阻碍力也越小^[31]。同时,30℃下各个混粉的粘度都比与之对应的70℃下混粉的粘度要大,说明混粉的粘度会随着温度的降低而增大,这是因为,温度降低时,被水解的淀粉分子之间由于氢键的作用而相互缔合,使水解后淀粉的分子体积不断增大,表现为淀粉糊液的粘度逐渐升高^[32]。

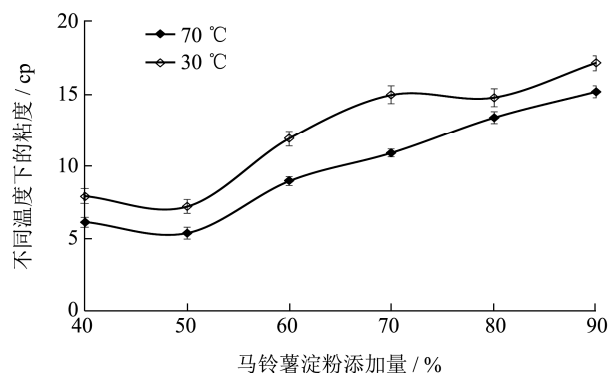


图2 不同温度下混粉的粘度

Fig.2 Viscosity of mixed powder under different temperature

2.3.3 混粉热特性分析

表2为不同淀粉含量下混粉热特性的测定结果,由表可知,混粉有两个糊化峰,第一个为糊化温度67℃附近($p<0.05$),第二个为糊化温度76℃附近($p<0.05$)。随着淀粉含量的增加,混粉的两个糊化峰均呈上下起伏的变化趋势。马铃薯淀粉的 T_p 为76.8℃, ΔH 为1.57 J/g。对比可知,马铃薯淀粉的热特性结果可知,马铃薯淀粉只有一个糊化峰,因此混粉中的第二个糊化峰为马铃薯淀粉,第一个糊化峰可能是小麦粉,朱凡等^[33]测定的小麦粉的糊化峰在65℃附近,与我们的测定的结果相近。

2.4 马铃薯淀粉添加量对生鲜马铃薯热干面

蒸煮特性及质构特性分析

2.4.1 马铃薯淀粉添加量对生鲜马铃薯热干面蒸煮特性影响

生鲜马铃薯热干面于4℃下放置0 h和48 h后,其蒸煮特性测定结果如图3、4、5所示。由图可知,随着马铃薯淀粉添加量的增加,放置0 h马铃薯热干面的断条率呈逐渐下降的变化趋势,马铃薯淀粉添加量为100%时断条率最低,为3.33%;放置48 h马铃薯热干面断条率呈先下降后上升再下降的变化趋势,当马铃薯淀粉添加量为100%时断条率最低,为4.17%。当马铃薯淀粉添加量超过60%时,48 h热干面断条率整体高于0 h热干面。面条蒸煮品质的好坏,主要与面条的网络结构及其与淀粉的结合程度有关。当淀粉与面条面筋网络结合不紧密,面筋网络连续性差时,煮制面条过程中就会出现蒸煮损失和断条现象,这是因为淀粉的添加改变了混合粉中蛋白质、直链淀粉和破损淀粉的比例^[34]。

放置0 h和48 h热干面吸水率都呈先上升后下降的变化趋势。放置0 h的热干面的吸水率整体高于48 h,马铃薯添加量为80%时,热干面的吸水率最大,为114.28%和112.03%。这可能是因为面条和淀粉都有一定的吸水能力,当淀粉含量较低时,面条的吸水能力强于淀粉,马铃薯淀粉不足以阻碍热干面的吸水能力,然而,当淀粉含量达到一定范围时,淀粉就会阻碍热干面原本有的吸水能力,导致吸水率下降。蛋白质具有比淀粉更强的吸水性,随着淀粉添加量的增加,蛋白质比例下降,面条的干物质吸水率下降。制面时,破损淀粉容易吸水膨胀且具有黏性,有利于维持面筋网络的稳定,但当破损淀粉含量过多时,可以同蛋白质竞争与水间的结合,反而阻碍面筋网络的扩展^[34]。

表2 混粉热特性参数

Table 2 Thermal characteristic parameters of mixed powder

淀粉含量/%	峰 1				峰 2			
	To / °C	Tc / °C	Tp / °C	$\Delta H / (J/g)$	To / °C	Tc / °C	Tp / °C	$\Delta H / (J/g)$
40	62.66±0.13 ^c	71.50±0.12 ^c	67.34±0.11 ^c	0.47±0.06 ^c	73.77±0.11 ^c	79.73±0.12 ^c	77.24±0.18 ^c	0.09±0.01 ^b
50	61.72±0.14 ^a	67.55±0.13 ^a	65.97±0.10 ^a	0.23±0.02 ^b	70.58±0.13 ^a	77.39±0.24 ^a	75.55±0.17 ^a	0.07±0.01 ^a
60	63.15±0.16 ^d	72.88±0.09 ^e	68.74±0.06 ^d	0.21±0.04 ^{ab}	74.58±0.20 ^d	80.74±0.11 ^d	77.75±0.23 ^d	0.08±0.02 ^{ab}
70	61.70±0.10 ^a	70.29±0.18 ^b	66.11±0.05 ^a	0.21±0.01 ^{ab}	72.30±0.19 ^b	79.28±0.17 ^b	75.85±0.19 ^{ab}	0.08±0.01 ^{ab}
80	63.53±0.08 ^e	72.95±0.16 ^e	69.37±0.12 ^e	0.18±0.02 ^{ab}	74.70±0.25 ^d	80.69±0.26 ^d	77.85±0.20 ^d	0.08±0.01 ^{ab}
90	62.25±0.11 ^b	72.08±0.12 ^d	66.30±0.11 ^b	0.14±0.05 ^{ab}	73.65±0.17 ^c	78.96±0.28 ^b	76.20±0.25 ^b	0.08±0.01 ^{ab}

注: 同列肩注小写字母不同表示差异显著 ($p<0.05$)。

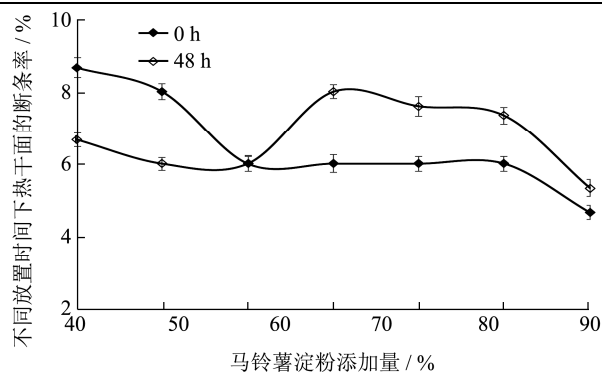


图3 生鲜热干面断条率

Fig.3 Broken rate of potato hot dry noodles

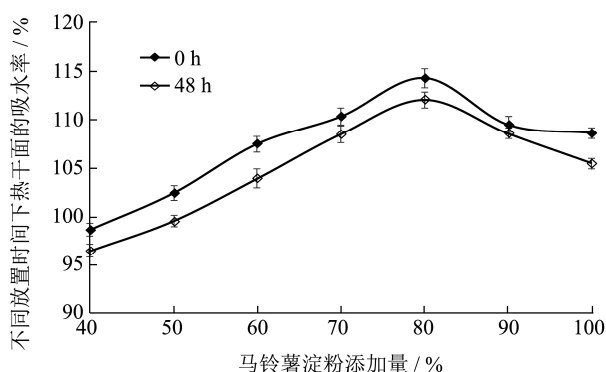


图4 生鲜热干面吸水率

Fig.4 Water absorption rate of potato hot dry noodles

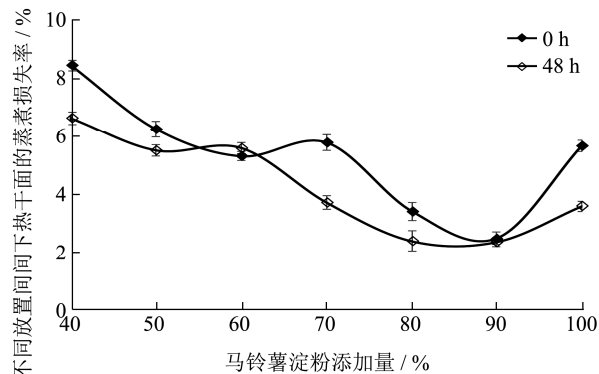


图5 生鲜热干面的蒸煮损失率

Fig.5 Loss rate of potato hot dry noodles

放置0 h和48 h热干面蒸煮损失率都呈先下降后上升的变化趋势,说明一定范围内的马铃薯淀粉添加量可以减小面条的蒸煮损失,增强面条结构稳定性;但随着马铃薯淀粉添加量继续增加,蒸煮损失率明显增大,说明马铃薯淀粉比例超过一定范围,则会对面条蒸煮品质产生显著负面影响,就本试验结果而言,马铃薯淀粉添加量为90%时,生鲜热干面的蒸煮损失率最低,分别为2.51%和2.38%。此外,4℃下放置48 h的生鲜热干面的蒸煮损失率基本都比0 h的要小,这可能是低温贮藏降低了其蒸煮损失率。在面条煮制过程中糊化的淀粉溶胀、破裂,一部分直链和支链淀粉分子溢出淀粉颗粒,这都可能导致面条的蒸煮损失

率和断条率增加^[35]。

2.4.2 马铃薯淀粉添加量对生鲜马铃薯热干面质构特性影响

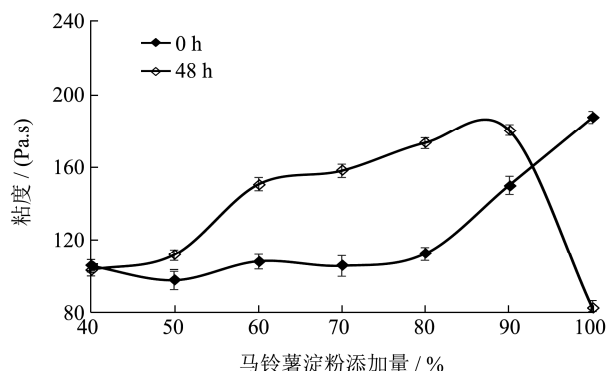


图6 不同马铃薯淀粉添加量下生鲜马铃薯热干面粘度

Fig.6 Viscosity of hot dry noodles under different potato starch content

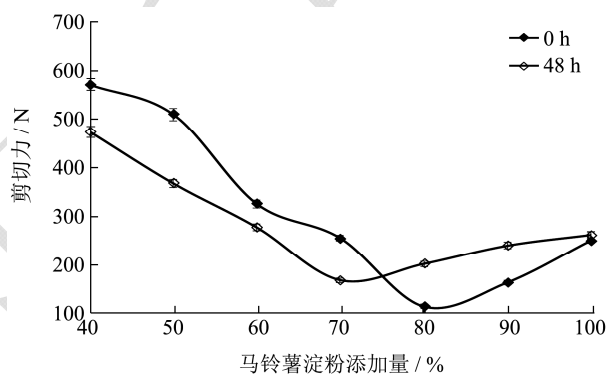


图7 不同马铃薯淀粉添加量下生鲜马铃薯热干面剪切力

Fig.7 Shear force of hot dry noodles under different potato starch content

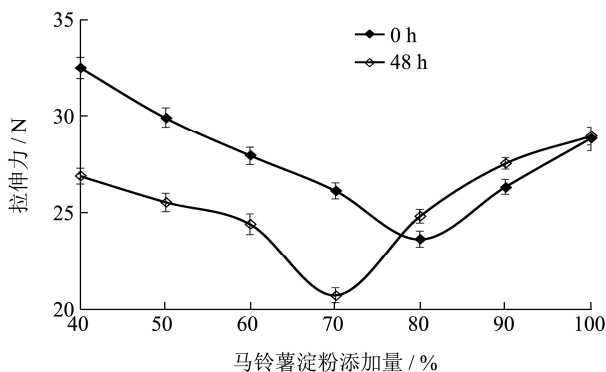


图8 不同马铃薯淀粉添加量下生鲜马铃薯热干面拉伸力

Fig.8 Drawing force of hot dry noodles under different potato starch content

将生鲜热干面于4℃下放置0 h和48 h,测定其粘度、剪切力和拉伸力,结果如图6、7、8所示。由图6、7、8可知,4℃下存放0 h的生鲜热干面的粘度随着淀粉含量的增加而增大,这可能是因为淀粉含量的增加降低了其中面筋蛋白的相对含量,使面筋网络结构形成不充分,稳定性低,再加上吸水率的增大,

导致其粘度增大^[36]。4℃放置48h的生鲜热干面,其粘度随着马铃薯淀粉添加量的增加呈先增大后减小的变化趋势,添加量为90%时的热干面粘度最大,为180.46 Pa·s。

4℃下存放置0、48h的生鲜马铃薯热干面的剪切力和拉伸力都是随着马铃薯淀粉的增加呈先减小后增大的变化趋势。4℃下存放置0h的生鲜马铃薯热干面在马铃薯淀粉添加量为80%时剪切力和拉伸力最小,分别为113.96 N和23.62 N。可能是因为淀粉含量的增加面条中的面筋网络结构逐渐不稳定,导致面条硬度和弹性下降,但是随着淀粉含量的不断增加,面条内部结构变得紧密,所以最后有小幅度的上升^[37]。4℃下存放置48h的生鲜马铃薯热干面在马铃薯淀粉添加量为70%时,剪切力和拉伸力最小,分别为168.31 N和20.73 N。

2.5 马铃薯淀粉添加量对干制马铃薯热干面

特性影响分析

2.5.1 马铃薯淀粉添加量对干制马铃薯热干面复水特性影响

吸水率和复水时间的测定结果如图9所示。由图9可知,随着马铃薯淀粉添加量的增加,吸水率呈不断上升的变化趋势,当马铃薯添加量为100%时最高,达到了115.06%。复水时间分为两档,马铃薯淀粉添加量为40%~70%时,复水时间为330s,添加量为80%~100%时,复水时间为300s,由此可以说明,适当提高马铃薯淀粉添加量可缩短复水时间。

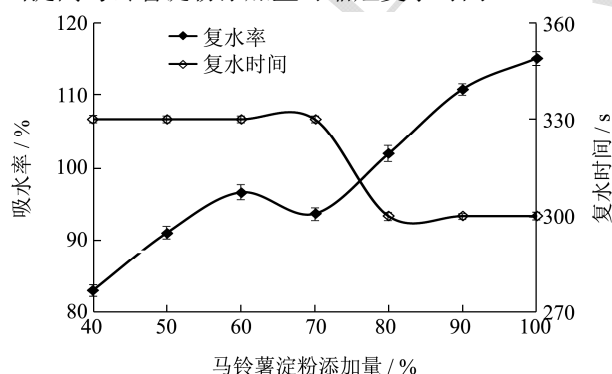


图9 热干面的吸水率和复水时间

Fig.9 Water absorption rate and rehydration time of potato hot dry noodles

2.5.2 马铃薯淀粉添加量对干制马铃薯热干面质构特性影响

马铃薯热干面的质构特性测定结果如图10所示。由图可知,马铃薯热干面的粘度随着马铃薯淀粉添加量的增加呈先增大后减小的变化趋势,马铃薯淀粉添

加量为90%时,其粘度最大为98.90 Pa·s。这可能是因为,干制后的热干面的吸水率随着马铃薯淀粉添加量的增加而增大,因此面条的粘度增大。马铃薯热干面的剪切力随着马铃薯淀粉添加量的增加呈先增大后减小再增大的变化趋势,马铃薯淀粉添加量为70%时,热干面其剪切力最大为120.72 N,添加量为90%时,热干面剪切力最小为55.48 N,这主要是干燥的过程致使面条内部结构形成疏松多孔状结构,该结构不紧密,因此剪切力的变化较大。随着马铃薯淀粉添加量的增加,干制热干面的拉伸力呈先减小后增大的变化趋势,添加量为40%时的热干面其拉伸力最大为33.00 N,添加量为60%的拉伸力最小为22.37 N,拉伸力越大表明面条的弹性越好,可能是因为在一定范围内,随着马铃薯淀粉添加量的增加面条中面筋蛋白的相对含量降低,使面条的弹性变差,因此拉伸力减小^[37]。

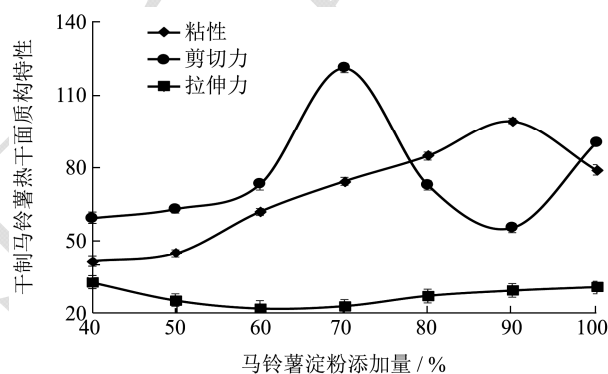


图10 马铃薯热干面的质构特性

Fig.10 Texture characteristics of potato hot dry noodles

2.6 马铃薯淀粉添加量对干制马铃薯热干面

消化特性影响

马铃薯热干面的淀粉消化特性如图11所示,由图可知,RDS的含量随着马铃薯淀粉添加量的增加而增加,RDS越多表明淀粉越容易被消化,这主要是因为随着马铃薯淀粉添加量的增加,一方面与酶反应的底物量增多了,所以RDS含量随之增多,另一方面当马铃薯淀粉添加量增加时,其中的膳食纤维和蛋白含量相对在减少,膳食纤维和蛋白可以将淀粉包裹起来,阻碍酶与淀粉的结合,所以淀粉含量的增加,这种阻碍作用也在相应的减少^[38],因此,RS的含量是随着马铃薯淀粉添加量增加而减少的。SDS含量是随着马铃薯淀粉添加量的增加呈先增加后减小再缓慢增加的变化趋势,马铃薯淀粉添加量在40%~70%时,虽然膳食纤维和蛋白有一定的阻碍力,但酶分子相对底物来说较充足,因此SDS逐渐增多;当马铃薯淀粉添加量在70%~80%时,SDS含量出现下降趋势,可能是因

为马铃薯淀粉添加量的增加,导致 SDS 占总淀粉的比例减小。综上所述,马铃薯淀粉添加量为 40%时,热干面中淀粉是最难被消化的;马铃薯淀粉添加量为 100%时,热干面中淀粉是最容易被消化的。

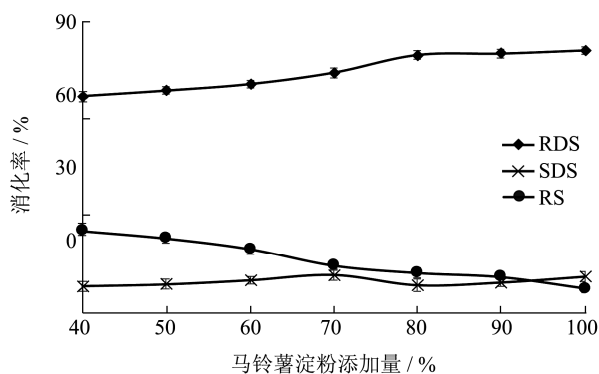


图 11 马铃薯热干面的淀粉消化特性

Fig.11 Starch digestion characteristics of potato hot dry noodles

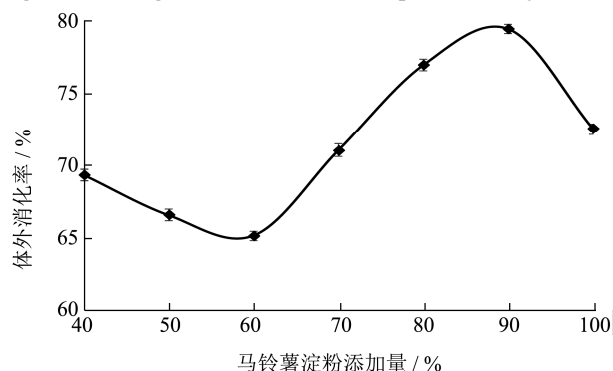


图 12 马铃薯热干面的蛋白质消化特性

Fig.12 Protein digestible characteristics of potato hot dry noodles

马铃薯热干面的蛋白质消化特性如图 12 所示。由图可知,随着马铃薯淀粉添加量的增加,热干面蛋白质体外消化率呈现先缓慢下降后上升再下降的变化趋势,马铃薯淀粉添加量为 60%时,蛋白质消化率最高,为 65.18%;马铃薯淀粉添加量为 90%时,蛋白质消化率最高,为 79.40%。

3 结论

马铃薯淀粉的添加对混粉、生鲜马铃薯热干面和干制马铃薯热干面的蒸煮特性、质构特性和消化特性均有一定的影响。马铃薯淀粉添加量在 60%~70%时,混粉的持水性、吸水膨胀性和粘度值较高;当马铃薯淀粉添加量在 70%~80%左右时,马铃薯热干面的断条率和蒸煮损失率较低,而粘度和拉伸力较高,较好的改善生鲜马铃薯热干面的蒸煮特性和质构特性。对于干制马铃薯热干面,当马铃薯淀粉添加量在 70%左右时,干制马铃薯热干面的吸水率较高、复水时间较短,粘度和拉伸力较高,淀粉和蛋白消化能力较高,淀粉

的添加提高了干制马铃薯热干面的复水特性、质构特性,同时,干制热干面更易消化。

参考文献

- [1] 韩克,张正茂,邢沁浚,等.不同品种马铃薯膳食纤维化学组成及理化性质分析[J].食品科学,2017,38(17):158-163
HAN Ke, ZHANG Zheng-mao, XING Qin-hui, et al. Compositions and physicochemical properties of dietary fiber extracted from different potato varieties [J]. Food Science, 2017, 38(17): 158-163
- [2] 汪兰,任斯忱,杜欣,等.不同品种马铃薯淀粉物化特性与组成结构的关系[J].食品科学,2010,31(21): 39-44
WANG Lan, REN Si-chen, DU Xin, et al. Characterization and correlation analysis of physico-chemical properties of starch from different potato cultivars [J]. Food Science, 2010, 31(21): 39-44
- [3] 杨雅伦,郭燕枝,孙君茂.我国马铃薯产业发展现状及未来展望[J].中国农业科技导报,2017,19(1):29-36
YANG Ya-lun, GUO Yan-zhi, SUN Jun-mao. Present status and future prospect for potato industry in China [J]. Journal of Agricultural Science and Technology, 2017, 19(1): 29-36
- [4] 徐芬,胡宏海,张春江,等.不同蛋白对马铃薯面条食用品质的影响[J].食品科学,2015,31(12):269-276
XU Fen, HU Hong-hai, ZHANG Chun-jiang, et al. Effects of different types of proteins on the eating quality of potato noodles [J]. Food Science, 2015, 31(12): 269-276
- [5] 王丽,罗红霞,李淑荣,等.不同品种马铃薯全粉面条品质特性及主成分分析[J].食品科学,2018,34(1):111-118
WANG Li, LUO Hong-xia, LI Shu-rong, et al. The noodle quality characteristics and principal component analysis of different potato varieties [J]. Food Science, 2018, 34(1): 111-118
- [6] 魏跃胜,梁谦长.武汉热干面品质分析[J].粮油食品科技,2015,23(4):59-61
WEI Yue-sheng, LIANG Qian-chang. Quality analysis of Wuhan reganmian [J]. Science and Technology of Cereals, Oils, and Foods, 2015, 23(4): 59-61
- [7] 曾凡逵,赵鑫,刘刚,等.双波长比色法测定直链/支链淀粉含量[J].现代食品科技,2012,1(28):119-122
ZENG Fan-kui, ZHAO Xin, LIU Gang, et al. Dual-wavelength colorimetric method for measuring amylose and amylopectin contents of potato starch [J]. Modern Food Science and Technology, 2012, 28(1): 119-122
- [8] 黄洁,赵建新,黄建联,等.低水分马铃薯淀粉的理化性质及其对鱼糜制品凝胶特性的影响[J].现代食品科技,2015,

- 31(3):108-114
HUANG Jie, ZHAO Jian-xin, HUANG Jian-lian, et al. Physicochemical properties of low moisture potato starch and their effects on surimi products [J]. Food Science, 2015, 31(3): 108-114
- [9] 史俊丽.超微细化大米淀粉的制备和特性研究[D].武汉:华中农业大学,2005
SHI Jun-li. Studies on preparation and proteins of ultrafine rice starch [D].Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2005
- [10] 程科.大米淀粉物化特性,分子结构及其相关性研究[D].武汉:华中农业大学,2006
CHENG Ke. Physicochemical characteristics and molecular structure and their correlation in rice starch [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2006
- [11] 杨光,丁霄霖.抗性淀粉分子量分布的研究[J].中国粮油学报,2000,15(5):37-40
YANG Guang, DING Xiao-lin. Studies on molecular weight distribution of resistant starch [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2000,15(5): 37-40
- [12] Sanglcks, Jaeon B, Kwan H P, et al. Effect of partial acid hydrolysis and heat-moisture treatment on formation of resistant tuber starch [J]. Cereal Chemistry, 2004, 81(2): 194-198
- [13] 张习军,熊善柏,周威,等.蒸煮工艺对米饭中淀粉消化性能的影响[J].农业工程学报,2009,25(1):92-96
ZHANG Xi-jun, XIONG Shan-bo, ZHOU Wei, et al. Effects of cooking technologies on *in vitro* starch digestibility of cooked rice [J].Transactions of the CSAE, 2009, 25(1): 92-96
- [14] Vida S, Helena G, Cliff L, et al. Influence of genotype and processing on the *in vitro* rate of starch hydrolysis and resistant starch formation in peas [J]. Journal of Agriculture and Food Chemistry, 1999, 47: 2033-2039
- [15] 谭瑶瑶,吴亨,古碧,等.不同酶制备木薯抗性淀粉的性质比较[J].食品工业科技,2013,34(11):88-91
TAN Yao-yao, WU Heng, GU Bi, et al. Property comparison of cassava resistant starch prepared by different amylases [J]. Science and Technology of Food Industry, 2013, 34(11): 88-91
- [16] 赵黎平,韩永斌,胡秋辉,等.糙米发芽过程中淀粉功能特性的变化[J].食品科学,2015,36(5):45-49
ZHAO Li-ping, HAN Yong-bin, HU Qiu-hui, et al. Effect of germination on functional properties of brown rice starch [J]. Food Science, 2015, 36(5): 45-49
- [17] 高宇萍,韩育梅,李周永,等.超声波处理对水不溶性膳食纤维膨胀力及持水力的影响[J].食品工业科技,2012,33(16): 299-301
GAO Yu-ping, HAN Yu-mei, LI Zhou-yong, et al. Effect of ultrasonic treatment on expansive force and water-holding capacity of insoluble dietary fiber [J]. Science and Technology of Food Industry, 2012, 33(16): 299-301
- [18] Karlsson M E, Eliasson A C. Gelatinization and retrogradation of potato (*Solanum tuberosum*) starch in situ as assessed by differential scanning calorimetry (DSC) [J]. LWT-Food Science and Technology, 2003, 36(8): 735-741
- [19] Koo H J, Park S H, Jo J S, et al. Gelatinization and retrogradation of 6-year-old Korean ginseng starches studied by DSC [J]. Food Science and Technology, 2005, 38(1): 59-65
- [20] 王乐.马铃薯面团特性及面条品质研究[D].西安:陕西科技大学,2017
WANG Le. Properties of potato dough and quality of potato noodles [D]. Xi'an: Shaanxi University of Science and Technology, 2017
- [21] 许蒙蒙.甘薯淀粉添加对面条品质的影响研究[D].郑州:河南工业大学,2015
XU Meng-meng. Effects of adding sweet potato starch on the quality of noodles [D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2015
- [22] 苏钰亭,尹涛,赵思明,等.蒸煮模式和大米品种对米饭蛋白质消化特性的影响[J].食品科学,2014,35(3):100-105
SU Yu-ting, YIN Tao, ZHAO Si-ming, et al. Effects of cooking methods and rice varieties on protein digestion properties of cooked rice [J]. Food Science, 2014, 35(3): 100-105
- [23] Chavan U D, Mckenzie D B, Shahidi F. Functional properties of protein isolates from beach pea (*Lathyrus maritimus* L.) [J]. Food Chemistry, 2001, 74: 177-187
- [24] 刘润好,杨冯,赵小皖,等.不同品种菱角淀粉的理化特性研究[J].中国粮油学报,2010,25(10):46-51
Liu Xun-yu, Yang Feng, Zhao Xiao-wan, et al. Physicochemical properties of water caltrop (*trapa* sp.) starch for three cultivar [J].Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2010, 25(10): 46-51
- [25] Jorge O B, Donaldb T. Production of boiling-stable granular resistant starch by partial acid hydrolysis and hydrothermal treatments of high amylose maize starch [J]. Cereal Chemistry, 2001, 78(6): 680-689
- [26] 马梦苹,张来林,王彦波,等.马铃薯全粉和小麦粉基本特性的对比研究[J].河南工业大学学报(自然科学版),2016,37(6): 52-56

- MA Meng-ping, ZHANG Lai-lin, WANG Yan-bo, et al. The comparison of basic characteristics of potato and water flour [J]. Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition), 2016, 37(6): 52-56
- [27] 徐红华,徐丹鸿.淀粉平均聚合度对抗性淀粉得率影响的研究[J].食品科学,2006,27(12):204-208
- XU Hong-hua, XUE Dan-hong. The relationship between degree polymerization of corn starch and the yield of resistant starch [J]. Food Science, 2006, 27(12): 204-208
- [28] 王洁.微波糊化辅助制备马铃薯淀粉及其消化特性研究[D].泰安:山东农业大学,2016
- WANG Jie. Digestibility of potato starch by microwave-assisted and annealing [D]. Tai'an: Shan dong agriculture university, 2016
- [29] Liljebergh Bi, Ostman E. Low glycaemic-index foods [J]. British Journal of Nutrition, 2000, 83 Suppl 1: 149-155
- [30] Ellis L J, Seal C B, Mathers J C. Postprandial glycaemic, lipaemic and haemostatic responses to ingestion of rapidly and slowly digested starches in healthy young women [J]. British Journal of Nutrition, 2005, 94(6): 948-955
- [31] 曹新蕾,王立,钱海峰,等.全麦粉对油炸方便面品质的影响[J].食品与机械,2016,32(3):193-198
- CAO Xin-lei, WANG Li, QIAN Hai-feng, et al. Effect of whole wheat flour on quality of instant fried noodles [J]. Food and Machinery, 2016, 32(3): 193-198
- [32] 汪薇薇,张红,王凯,等.淀粉水解产物流变性能研究[J].胶体与聚合物,2013,31(3):130-132
- WANG Wei-wei, ZHANG Hong, WANG Kai, et al. Study on rheological properties of corn starch hydrolysis products [J]. Chinese Journal of Colloid & Polymer, 2013, 31(3): 130-132
- [33] 朱凡,徐广文,丁文平.DSC 法研究小麦淀粉与面粉糊化和回生特性[J].食品科学,2007,28(4):279-282
- ZHU Fan, XU Guang-wen, DING Wen-ping, et al. Study one gelatinization and retrogradation properties of wheat starch and flour by DSC [J]. Food Science, 2007, 28(4): 279-282
- [34] 张豫辉.淀粉对面条品质影响的研究[D].郑州:河南工业大学,2015:26-28
- ZHANG Yu-hui. Studies on the influence of different starch on noodle quality [D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2015: 26-28
- [35] 王晓曦,雷宏,曲艺,等.面粉中的淀粉组对面条蒸煮品质的影响[J].河南工业大学学报(自然科学版),2010,31(2): 24-27
- WANG Xiao-xi, LEI Hong, QU Yi, et al. Effect of starch composition in flour on noodle cooking quality [J]. Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition), 2010, 31(2): 24-27
- [36] 付苗苗,牛桂芬.面粉中淀粉及组分和面筋蛋白对面团粉质特性的影响[J].食品研究与开发,2015,36(16):28-33
- FU Miao-miao, NIU Gui-fen. The influence of starch and composition and gluten protein on silty properties of dough [J]. Food Research And Development, 2015, 36(16): 28-33
- [37] 许蒙蒙,关二旗,卞科.谷朊粉和甘薯淀粉对面条品质的影响[J].粮食与饲料工业,2015,3:28-33
- XU Meng-meng, GUAN Er-qi, BIAN Ke. Effects of wheat gluten and sweet potato starch on noodle qualities [J]. Cereal & Feed Industry, 2015, 3: 28-33
- [38] 闫巧珍,高瑞雄,邢沁浚,等.马铃薯小麦粉混粉的理化性质与消化特性研究[J].食品工业科技,2016,37(22):173-177
- YAN Qiao-zhen, GAO Rui-xiong, XING Qin-hui, et al. Study on physicochemical properties and digestibility of potato and wheat flour blends [J]. Science and Technology of Food Industry, 2016, 37(22): 173-177

(上接第 188 页)

- [12] Avila Imlb, Manso Mde, Silva Ccm. Modeling the thermal sterilization of foods inside packs with two divisions [J]. Mathematics and Computers in Simulation, 1996, 42: 279-285
- [13] Farid M, Ghani Aga. A new computational technique for the estimation of sterilization time in canned food [J]. Chemical Engineering and Processing, 2004, 43: 523-531
- [14] Goncalves E C, Minim L A, Coimbra J S R, et al. Modeling sterilization process of canned foods using artificial neural networks [J]. Chemical Engineering and Processing, 2005, 44: 1269-1276
- [15] Uno J I, Yakawa K I. Nonsymmetric heat conduction in an infinite slab [J]. Journal of Food Science, 2006, 44: 396-403
- [16] 鈴木寛一,保坂秀明,久保田清,等.食品工学[M].日本,共立出版.1975:35-37,45-52
- Suzuki K, Esaka M, Kuboda H, et al. Food Engineering, [M]. Japan, Kyoritsu-pubcation. 1975: 35-37, 45-52
- [17] 野中順三,三善清旭.缶詰殺菌の理論と実際[M].日本,厚生閣.1996:115-131
- NONAKA J, MIYOSI K. Theory and practice of canned sterilization [M]. Japan, Kousekaku Co., Ltd., 1996: 115-131

现代食品科技