

# 马铃薯膳食纤维物化特性分析及其对马铃薯热干面品质的影响

蔡 沙, 隋 勇, 施建斌, 何建军, 陈学玲, 范传会, 梅 新\*

(湖北省农业科学院农产品加工与核农技术研究所, 湖北省农业科技创新中心农产品加工分中心, 湖北 武汉 430064)

**摘 要:**以马铃薯为原料,对膳食纤维进行提取制备,考察马铃薯膳食纤维的物化特性,并测定不同马铃薯膳食纤维添加量对马铃薯热干面品质的影响。结果表明,马铃薯膳食纤维中不溶性膳食纤维占48.74%;马铃薯膳食纤维的持水性为11.23 g/g,持油性为1.76 g/g,吸水膨胀性为6.65 mL/g,葡萄糖吸附能力为0.87 mmol/g,胆固醇吸附能力为2.04 mg/g;膳食纤维在一定程度上改善了马铃薯热干面的品质:随着膳食纤维添加量的增加,热干面的吸水率、蒸煮损失率呈不规律变化趋势;其剪切力及拉伸力整体上呈逐渐减小的变化趋势;膳食纤维能延缓面条中淀粉的分解,且增加面条中蛋白质的消化率。综上所述,膳食纤维的建议添加量为5%~12%。

**关键词:**马铃薯;膳食纤维;物化特性;热干面

## Physicochemical Properties of Potato Dietary Fiber and Its Influence on the Quality of Hot Dry Noodles Made from Potato Starch

CAI Sha, SUI Yong, SHI Jianbin, HE Jianjun, CHEN Xueling, FAN Chuanhui, MEI Xin\*

(Institute of Agricultural Product Processing and Nuclear-Agricultural Technology, Hubei Academy of Agricultural Sciences, Sub-Center of Agricultural Product Processing Research, Hubei Innovation Center of Agriculture Science and Technology, Wuhan 430064, China)

**Abstract:** This study investigated the physicochemical characteristics of potato dietary fiber, and it also examined the influence of adding different amounts of potato dietary fiber on the quality of hot dry noodles made from potato starch. The results showed that the content of insoluble dietary fiber in potato dietary fiber was 48.74%. Water-holding capacity of potato dietary fiber was 11.23 g/g, oil-holding capacity was 1.76 g/g and water swelling was 6.65 mL/g. Glucose adsorption capacity was 0.87 mmol/g and cholesterol adsorption capacity was 2.04 mg/g. Addition of potato dietary fiber improved the quality of hot dry noodles. Water absorption capacity and cooking loss rate of hot dry noodles changed irregularly with increasing addition of dietary fiber. However, shear force and tensile strength gradually decreased. Dietary fiber could delay the decomposition of starch while increasing the digestibility of proteins in noodles. In conclusion, addition of 5%–12% dietary fiber is recommended.

**Keywords:** potato; dietary fiber; physicochemical characteristics; hot dry noodles

DOI:10.7506/spkx1002-6630-20171213-151

中图分类号: TS215

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2019)04-0087-08

引文格式:

蔡沙, 隋勇, 施建斌, 等. 马铃薯膳食纤维物化特性分析及其对马铃薯热干面品质的影响[J]. 食品科学, 2019, 40(4): 87-94.

DOI:10.7506/spkx1002-6630-20171213-151. <http://www.spkx.net.cn>

CAI Sha, SUI Yong, SHI Jianbin, et al. Physicochemical properties of potato dietary fiber and its influence on the quality of hot dry noodles made from potato starch[J]. Food Science, 2019, 40(4): 87-94. (in Chinese with English abstract)

DOI:10.7506/spkx1002-6630-20171213-151. <http://www.spkx.net.cn>

收稿日期: 2017-12-13

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)

第一作者简介: 蔡沙(1989—)(ORCID: 0000-0002-1649-8187), 女, 助理研究员, 硕士, 研究方向为农产品加工与副产物综合利用。E-mail: 378079021@qq.com

\*通信作者简介: 梅新(1978—)(ORCID: 0000-0003-3583-100X), 男, 副研究员, 博士, 研究方向为农产品加工与副产物综合利用。E-mail: meixin0898@163.com

马铃薯又称土豆, 俗名山药蛋、地蛋儿和洋山芋等, 属茄科多年生草本作物, 可食用的部分为地下块茎<sup>[1]</sup>。中国已成为马铃薯生产消费大国, 总产量占到世界总产量25%左右<sup>[2]</sup>。马铃薯的加工产品也越来越多, 可将其制作成马铃薯粉丝、粉条和马铃薯淀粉供人们食用。马铃薯及其副产物产量虽大, 但其加工利用后产生的不可回收利用的鲜薯渣量更大。湿的马铃薯渣不易储存, 在微生物作用下易腐败变质, 造成生态环境污染<sup>[3]</sup>, 若将其全部烘干粉碎贮存则成本过高, 所以大多数薯渣被粉碎作为家畜的饲料或者直接挖坑掩埋处理。但将薯渣直接后作为饲料或废渣挖坑填埋处理, 不仅使其成分利用率过低, 且对环境有不利影响。研究表明马铃薯渣中的膳食纤维含量较高, 这使得廉价废弃的马铃薯渣成为巨大的膳食纤维提取来源<sup>[4]</sup>。

膳食纤维包括不溶性和可溶性两大类<sup>[5]</sup>, 经研究证明可溶性膳食纤维在降血糖等方面具有较强的生理功能, 但是可溶性膳食纤维的含量在总膳食纤维含量中较少。同时, 也有研究表明在对有害物质的清除能力和调节肠道功能等方面<sup>[6-9]</sup>, 不溶性膳食纤维的作用显得更加突出<sup>[10]</sup>。马铃薯膳食纤维是一种不被人体肠道菌群消化分解, 也不能提供能量的无营养多糖类物质。

马春红等<sup>[11]</sup>采用酶碱混合法提取多种马铃薯渣中的膳食纤维并对提取后所得膳食纤维的特性进行研究。梅新等<sup>[12]</sup>通过酶法制备马铃薯膳食纤维, 研究分析了pH值、NaCl浓度和温度变化对马铃薯渣膳食纤维物化特性的影响。廖红梅等<sup>[13]</sup>利用碱法对膳食纤维进行改性, 实际测得的改性后可溶性膳食纤维平均得率为17.01%。吴海燕等<sup>[14]</sup>用 $\alpha$ -淀粉酶和糖化酶处理马铃薯渣, 分离出发酵培养可供食用的蛋白质, 并测定了产物蛋白质和膳食纤维的理化指标。本研究对马铃薯渣中膳食纤维进行提取, 通过对其基本成分的物化特性进行分析, 并在高筋面粉中添加不同含量的马铃薯膳食纤维制成马铃薯热干面, 以改善马铃薯热干面的品质, 为马铃薯热干面在国内市场的进一步发展提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

马铃薯、食盐、食用碱、大豆油 市售; 高筋面粉 河南天香面业有限公司; 谷朊粉 封丘华丰粉业有限公司;  $\alpha$ -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; 石油醚、苯酚、甲基红、胆固醇、邻苯二甲醛、冰乙酸、3,5-二硝基水杨酸、考马斯亮蓝G-250、磷酸、牛血清蛋白试剂均为分析纯。

### 1.2 仪器与设备

BS-210型分析天平 德国Sartorius Instruments有限公司; PXS-270电子天平 上海精密科学仪器有限公司; BDW1-FW-200高速万能粉碎机 西化仪(北京)科技有限公司; DGX-9143B电热恒温鼓风干燥箱 天津市泰斯特仪器有限公司; HH-6数显恒温水浴锅 国华电气有限公司; FD-1-50型冷冻干燥机 北京博医康实验仪器有限公司; LXJ-IIB离心机 上海安亭科学仪器厂; 818型pH计 美国奥立龙公司; TAXT plus质构仪 英国Stable Micro Systems公司; K9840自动凯式定氮仪 济南海能仪器股份有限公司; KDN-08D消化炉 上海昕瑞仪器仪表有限公司; SX4-4-10马弗炉 上海康路仪器设备有限公司; DSC200F3差示量热扫描仪 德国耐驰科学仪器公司。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 马铃薯膳食纤维的制备

参考文献[15-17]的方法。新鲜马铃薯打浆提取淀粉后, 收集残渣, 马铃薯渣用自来水冲洗3次, 60℃烘干, 万能粉碎机粉碎后过100目筛, 4℃贮藏备用。

马铃薯渣与蒸馏水按质量比1:10比例混合, 100℃糊化10 min, 冷却至室温, 加入0.5%  $\alpha$ -淀粉酶和0.3%糖化酶60℃水浴酶解30 min, 然后按照体积比1:3醇沉30 min, 5 000 r/min离心30 min, 收集沉淀, 干燥, 得膳食纤维, 膳食纤维粉碎后过100目筛备用。

#### 1.3.2 鲜马铃薯及马铃薯膳食纤维基本成分测定

水分、灰分、蛋白质、脂肪、淀粉、可溶性膳食纤维和不溶性膳食纤维含量分别参照GB 5009.3—2016《食品中水分的测定》、GB 5009.4—2016《食品中灰分的测定》、GB 5009.5—2016《食品中蛋白质的测定》、GB 5009.6—2016《食品中脂肪的测定》、GB 5009.9—2016《食品中淀粉的测定》、GB 5009.88—2014《食品中膳食纤维的测定》的方法测定; 可溶性糖参照苯酚-硫酸法测定。

#### 1.3.3 马铃薯膳食纤维物化特性分析

##### 1.3.3.1 马铃薯膳食纤维持水性、持油性、吸水膨胀性测定<sup>[18-19]</sup>

持水性: 取一定量样品, 记为 $M_1$ , 按料液比1:20 (g/mL)加入蒸馏水, 室温条件下搅拌30 min, 2 500 r/min离心10 min, 弃上清液, 沉淀称质量, 记为 $M_2$ , 持水性按公式(1)计算:

$$\text{持水性}/(\text{g/g}) = \frac{M_2 - M_1}{M_1} \quad (1)$$

持油性: 取一定量样品, 记为 $M_3$ , 按料液比1:10 (g/mL)加入大豆油, 充分混匀, 室温条件下放置1 h, 1 500 r/min离心10 min, 残渣称质量记为 $M_4$ , 持油性按公式(2)计算:

$$\text{持油性}/(\text{g/g}) = \frac{M_4 - M_3}{M_3} \quad (2)$$

吸水膨胀性：取一定量样品 $M_5$ 于带刻度试管中，记录体积为 $V_1$ ，后按料液比1:10 (g/mL)加入蒸馏水，充分混匀后于4℃放置24 h，记录体积为 $V_2$ ，吸水膨胀性按公式(3)计算：

$$\text{吸水膨胀性}/(\text{mL/g}) = \frac{V_2 - V_1}{M_5} \quad (3)$$

### 1.3.3.2 马铃薯膳食纤维胆固醇吸附能力测定

参照钟希琼等<sup>[20]</sup>的方法并作适当修改，胆固醇标准曲线方程为 $y=0.0109x+0.0204$  ( $R^2=0.9999$ )。

取市售鲜鸡蛋蛋黄，加入9倍体积蒸馏水充分搅打成乳液，测定并记录乳液中胆固醇含量，记为 $P_1$ 。取一定量马铃薯膳食纤维样品，记为 $M_6$ ，按料液比1:20 (g/mL)加入上述稀释后蛋黄液，搅打均匀，调节pH值至7.0，室温振荡2 h，3 000 r/min离心20 min，取上清液，稀释10倍后，测定并记录上清液中胆固醇总量，记为 $P_2$ ，马铃薯膳食纤维胆固醇吸附能力按公式(4)计算：

$$\text{胆固醇吸收能力}/(\text{mg/g}) = \frac{P_1 - P_2}{M_6} \quad (4)$$

### 1.3.3.3 马铃薯膳食纤维葡萄糖吸附能力测定

参照王艳丽等<sup>[21]</sup>的方法并作适当修改，葡萄糖标准曲线方程为 $y=10.365x-0.0255$  ( $R^2=0.9998$ )。

马铃薯膳食纤维样品先后分别用75%、85%、95%乙醇溶液冲洗2次，充分去掉马铃薯膳食纤维中可溶性糖，干燥样品。取干燥后马铃薯膳食纤维样品1.0 g，加入100 mL 100 mmol/L葡萄糖溶液，充分搅拌后置于室温条件下静置6 h，随后于3 500 r/min离心15 min，测定上清液中葡萄糖含量，马铃薯膳食纤维葡萄糖吸附能力记为被1 g马铃薯膳食纤维吸附的葡萄糖量。

### 1.3.3.4 马铃薯膳食纤维显微结构测定

采用Quanta-200扫描电子显微镜观察马铃薯膳食纤维的表面形态，将冷冻干燥好的样品置于薄层双面胶上再进行真空镀膜，在放大倍数为5 000 倍的条件下进行观察。

## 1.3.4 马铃薯膳食纤维含量对马铃薯热干面品质影响

### 1.3.4.1 马铃薯热干面的制作工艺

马铃薯淀粉与谷朊粉按9:1比例混合后，与马铃薯膳食纤维混合，马铃薯膳食纤维所占比例分别为0%、3%、5%、8%、10%、12%、15%、18%、20%、22%、25%，充分混合后再与小麦面粉按3:7比例混匀得混合粉，按混合粉总量加入4%谷朊粉、1.0%食盐、0.3%碱充分混合得最终混粉，混粉加水 and 面，醒面，压面，制作成型。每次和面500 g，加水量约为36%，和面15 min后，置于35℃、相对湿度85%条件下醒面30 min，压面。

### 1.3.4.2 膳食纤维添加量对混粉特性分析

混粉持水性、吸水膨胀性测定：参照1.3.3节中膳食纤维相关方法进行，稍作改动，其中料液比为1:50 (g/mL)。

混粉黏度采用黏度计测定。混粉质量占5%，95℃条件下糊化30 min，分别测定30、70℃条件下混粉的黏度。

混粉热特性测定：分别对马铃薯淀粉和混粉的热特性进行测定。称取3 mg样品于杜邦液体坩埚中，按质量比1:2的比例加入去离子水，密封后隔夜放置平衡。用差示扫描量热仪分析混粉糊化的热特性，程序如下：25℃保持1 min，以10℃/min升至95℃，再以10℃/min降至25℃。

### 1.3.4.3 膳食纤维添加量对生鲜热干面蒸煮特性分析

分别测定不同马铃薯膳食纤维含量条件下制作生鲜马铃薯热干面(4℃放置0、48 h)的断条率、吸水率及蒸煮损失率，蒸煮时间均为1 min。

断条率：取40根20 cm面条置于1 000 mL沸水中，保持水的沸腾状态煮至最佳蒸煮时间1 min，用竹筷将面条轻轻挑出，数出面条断条数，计算面条蒸煮断条率。

吸水率和蒸煮损失率：取20 g面条，置于1 000 mL沸水中保持水的沸腾状态煮至最佳蒸煮时间1 min，用漏勺将面条捞出沥水5 min，然后将其放入烘箱中烘到恒质量，吸水率和蒸煮损失率按公式(5)、(6)计算：

$$\text{吸水率}/\% = \frac{\text{煮后面条湿质量} - \text{面条干质量}}{\text{面条干质量}} \times 100 \quad (5)$$

$$\text{蒸煮损失率}/\% = \frac{\text{面条干质量} - \text{煮后面条干质量}}{\text{面条干质量}} \times 100 \quad (6)$$

分别测定不同添加量马铃薯膳食纤维条件下制作生鲜马铃薯热干面(4℃放置0、48 h)的质构特性，蒸煮时间均为1 min。

黏度测定：采用质构仪所配备的探头：Code HDP/PFS；参数设定：压缩模式；测试前速率2.0 mm/s；测试速率0.8 mm/s；测试后速率0.8 mm/s；压缩比70%；触发力Auto-3 g；2次压缩之间的时间间隔1 s。每次对每个试样平行测定6次，取平均值。

剪切力测定：采用质构仪所配备的探头：Code A/LKD；参数设定：压缩模式；测试前速率2 mm/s；测试速率0.8 mm/s；测试后速率0.8 mm/s；压缩比90%；触发力Auto-3 g。每次把3根面条水平置于载物台上，面条之间要有一定间隔。对每个试样平行测定6次，取平均值。

拉伸力测定：采用质构仪所配备的探头Code A/SPR；参数设定：拉伸模式；测试前速率2 mm/s；测试速率2 mm/s；测试后速率10 mm/s；测试距离100 mm；触发力Auto-5 g。每次将一根面条缠绕固定在2个平行的摩擦轮之间(面条在被拉过程中不能够松动)，上面的轮子匀

速向上拉伸面条,直至面条断裂。对每个试样平行测定6次,取平均值。

### 1.3.4.4 膳食纤维添加量对热干面消化特性分析

淀粉消化特性:参照刘忠义<sup>[22]</sup>、李环<sup>[23]</sup>等人的方法并作适当修改,葡萄糖标准曲线方程为 $y=0.1821x+0.0181$  ( $R^2=0.9987$ )。

不同膳食纤维热添加量的干面熟化后,烘干,碾碎,称取2.5 g于碾钵中,加入少量pH 6.9的磷酸盐缓冲液,研磨成均匀糊状,转入50 mL比色管中,用pH 6.9的磷酸盐缓冲液定容至25 mL,并于37 °C条件下预热5 min,然后加入质量分数为1%的胰酶和糖化酶各3.5 mL,分别在37 °C水浴酶解0、20、120 min,分别将酶解液于6 000 r/min离心10 min,得水解液,测定水解液中葡萄糖含量。

快速消化淀粉(rapidly digestible starch, RDS)为在20 min内酶解消化淀粉,按公式(7)计算:

$$\text{RDS质量分数/\%} = \frac{0.9 \times (G_{20} - G_0)}{\text{面条中淀粉含量}} \times 100 \quad (7)$$

式中:  $G_{20}$ 为淀粉被酶水解20 min后产生的葡萄糖含量/mg;  $G_0$ 酶解前游离葡萄糖含量/mg。

慢速消化淀粉(slowly digestible starch, SDS)为在20~120 min内酶解消化淀粉,按公式(8)计算:

$$\text{SDS质量分数/\%} = \frac{0.9 \times (G_{120} - G_{20})}{\text{面粉中淀粉含量}} \times 100 \quad (8)$$

式中:  $G_{120}$ 为淀粉被酶水解120 min后产生的葡萄糖含量/mg。

抗消化淀粉(resistant starch, RS)为大于120 min酶解消化的淀粉,按公式(9)计算:

$$\text{RS含量} = \text{总淀粉含量} - \text{RDS含量} - \text{SDS含量} \quad (9)$$

蛋白质消化特性:参照苏钰亭等<sup>[24]</sup>的方法并作适当修改,蛋白质标准曲线方程为 $y=0.0102x-0.0258$  ( $R^2=0.9997$ )。

不同膳食纤维含量热干面熟化后,烘干,碾碎,取2.5 g置于50 mL试管中,加入25 mL 0.1 mol/L HCl溶液搅拌至糊状,加入10 mg胃蛋白酶混合均匀,于37 °C恒温振荡酶解4 h,后用1.0 mol/L磷酸缓冲液(pH 8.0)调节酶解液至中性,加入10 mg胰蛋白酶,继续于37 °C恒温振荡反应4 h后,100 °C水浴灭酶5 min。灭酶后酶解液于6 000 r/min条件下离心10 min,收集上清液,测定其含氮量 $N_t$ ,蛋白体外消化率按公式(10)计算:

$$\text{体外消化率/\%} = \frac{N_t}{N_{\text{tot}}} \times 100 \quad (10)$$

式中:  $N_t$ 为胃蛋白酶-胰蛋白酶酶解时间 $t$  (min)后的上清液的氮含量/mg;  $N_{\text{tot}}$ 为样品总氮含量/mg。

## 1.4 数据处理

采用Excel 2007软件进行数据处理和分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 鲜马铃薯和马铃薯膳食纤维的基本成分分析

表1 鲜马铃薯和马铃薯膳食纤维的各组分质量分数  
Table 1 Chemical compositions of fresh potato and potato dietary fiber

组分	水分	灰分	蛋白质	淀粉	脂肪	可溶性糖	膳食纤维
鲜马铃薯	82.38±0.25	0.54±0.06	1.77±0.09	10.52±0.12	0.34±0.03	2.40±0.10	0.75±0.02
马铃薯膳食纤维	8.93±0.11	8.29±0.13	8.66±0.09	18.03±0.15			53.68±0.14

如表1所示,马铃薯中水分质量分数最高,为82.38%;其次为淀粉10.52%;可溶性糖和蛋白质质量分数较低,分别为2.40%和1.77%;膳食纤维、灰分和脂肪质量分数最低,分别为0.75%、0.54%、0.34%。马铃薯膳食纤维中不溶性膳食纤维质量分数最高,为48.74%;其次为淀粉18.03%,水分、灰分和蛋白质质量分数分别为8.93%、8.29%和8.66%;可溶性膳食纤维质量分数最低,仅有4.94%。结果表明经酶解、醇沉、离心、干燥提取后的马铃薯中膳食纤维含量明显增多,约占53.68%。

### 2.2 马铃薯膳食纤维物化特性分析

#### 2.2.1 马铃薯膳食纤维持油性、持水性、吸水膨胀性分析

表2 马铃薯膳食纤维物化特性  
Table 2 Characteristics of potato dietary fiber

成分	持油性/(g/g)	持水性/(g/g)	吸水膨胀性/(mL/g)	胆固醇吸附能力/(mg/g)	葡萄糖吸附能力/(mmol/g)
马铃薯膳食纤维	1.76±0.09	11.23±0.16	6.65±0.12	2.04±0.05	0.87±0.01

如表2所示,马铃薯膳食纤维持油性为1.76 g/g,持水性为11.23 g/g,吸水膨胀性为6.65 mL/g。持水性、膨胀力和持油力是评价不溶性膳食纤维理化性能的重要指标。对比张艳荣等<sup>[25]</sup>的实验结果,其马铃薯膳食纤维持油性为1.90 g/g,持水性为7.00 g/g,吸水膨胀性为7.37 mL/g,以及吴海燕等<sup>[14]</sup>的实验得到持水性为9.06 g/g。本实验所测的持水性远超过谷类、豆类加工的副产品(小麦皮6.4~6.6 g/g,燕麦麸5.5 g/g,大豆粕4.1 g/g),持水性完全能满足食品制造商的基本要求(2.0 g/g)<sup>[26-27]</sup>。结果表明,马铃薯膳食纤维具有良好的持水性及吸水膨胀性,有利于其在缓解便秘、改善肠道环境及预防肥胖等方面发挥作用<sup>[28]</sup>。

马铃薯膳食纤维胆固醇吸附能力为2.04 mg/g,葡萄糖吸附能力为0.87 mmol/g。对比王艳丽等<sup>[21]</sup>经过生物处理多褶皱结构的复合马铃薯膳食纤维胆固醇吸附能力9.46 mg/g、葡萄糖吸附能力22.13 mmol/g,可以看出两者

因处理方法及原料的差异结果相差甚大,后者经生物处理后对胆固醇及葡萄糖的吸附能力有极大提高。

### 2.2.2 马铃薯膳食纤维显微结构分析

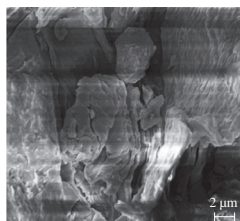


图1 马铃薯膳食纤维的微观结构图

Fig. 1 Microstructure of potato dietary fiber

如图1所示,马铃薯膳食纤维呈现片状、间接有空间网络的层状结构,且网络结构是无规则的,这样的微观形态解释了膳食纤维良好的持水性及吸水膨胀性。

### 2.3 混粉中不同马铃薯膳食纤维添加量特性分析

#### 2.3.1 持水性、吸水膨胀性测定结果

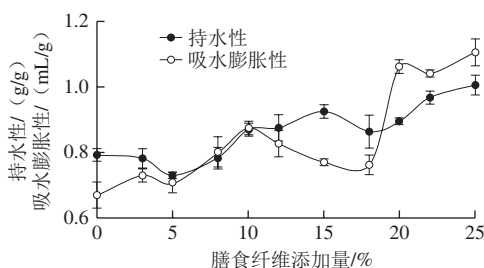


图2 膳食纤维添加量对持水性和吸水膨胀性的影响

Fig. 2 Water-holding capacity and water absorption expansibility of potato starch-gluten mixtures with different amounts of added dietary fiber

由图2可知,混粉持水性、吸水膨胀性随膳食纤维添加量的增加呈逐渐升高趋势,当混粉中膳食纤维添加量在5%~10%时,混粉的持水性和吸水膨胀性逐渐上升;当混粉中膳食纤维添加量在10%~18%时,随着膳食纤维添加量的增加,混粉的持水性呈先上升后下降的变化趋势,混粉的吸水膨胀性呈逐渐下降的变化趋势;当混粉中膳食纤维添加量大于18%时,混粉的持水性和吸水膨胀性都呈上升趋势。这是因为膳食纤维具有良好的持水性及吸水膨胀性,在一定比例下,将其添加到混粉中,可以较好地改善混粉的持水性和吸水膨胀性。这与闫巧珍等<sup>[29]</sup>的研究结果相似,马铃薯-小麦混粉的膨胀度随着小麦粉比例的增大而降低,这是由于混粉中可溶性糖等成分的增加造成的。此外,许维娜<sup>[30]</sup>从豆渣中提取膳食纤维,其持水性和膨胀度明显比豆渣高(持水力增加83.38%,膨胀度增加1.77倍),这是因为膳食纤维中亲水基团和保持水分的网络结构所占的比例高,吸水膨胀度大。

#### 2.3.2 黏度测定结果

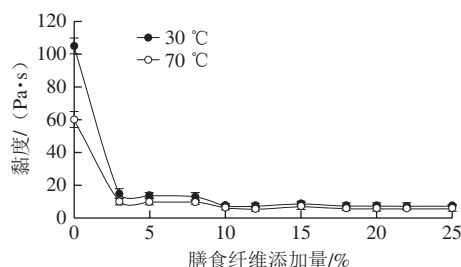


图3 膳食纤维添加量对黏度的影响

Fig. 3 Viscosity of potato starch-gluten mixtures with different amounts of added dietary fiber

由图3可以看出,当膳食纤维添加量为0%~3%时,随着混粉中膳食纤维添加量的增加,混粉的黏度急剧下降;当膳食纤维添加量为3%~8%时,混粉黏度无明显变化;当膳食纤维添加量为8%~10%时,混粉黏度又呈现缓慢下降的变化趋势;当膳食纤维含量大于10%后,混粉的黏度变化趋于平缓。相同添加量的膳食纤维,混粉的黏度随温度的升高而呈减小的变化趋势。赵一川<sup>[31]</sup>将经微波处理60 s的小麦麸皮(总膳食纤维质量分数为40.51%)以不同比例回添到面粉中制备不同含量的高纤面粉,并评价了其理化性质,结果表明,随着麸皮添加量(膳食纤维含量)的增加,高纤面粉的峰值黏度、谷值黏度、最终黏度均逐渐降低,这与本实验研究结果一致。

#### 2.3.3 热特性分析

表3 膳食纤维添加量热特性参数

Table 3 Effect of potato dietary fiber addition on thermal properties

膳食纤维添加量/%	峰1				峰2			
	$T_g/^\circ\text{C}$	$T_c/^\circ\text{C}$	$T_p/^\circ\text{C}$	$\Delta H/(\text{J/g})$	$T_g/^\circ\text{C}$	$T_c/^\circ\text{C}$	$T_p/^\circ\text{C}$	$\Delta H/(\text{J/g})$
0	62.27±0.11	70.00±0.19	66.63±0.14	0.43±0.02	72.07±0.16	79.23±0.21	75.00±0.13	0.66±0.01
3	61.10±0.15	69.65±0.15	65.65±0.12	0.58±0.05	71.85±0.13	79.80±0.24	74.95±0.17	0.71±0.08
5	61.35±0.17	69.50±0.08	65.75±0.09	0.48±0.06	71.80±0.20	79.40±0.27	75.05±0.11	0.70±0.06
8	62.40±0.10	70.25±0.13	66.90±0.06	0.46±0.04	72.30±0.19	79.95±0.19	75.45±0.18	0.58±0.05
10	61.35±0.09	69.55±0.16	65.75±0.10	0.45±0.08	71.70±0.21	79.45±0.20	74.85±0.20	0.63±0.04
12	60.80±0.10	69.50±0.14	64.90±0.11	0.41±0.09	72.60±0.17	80.60±0.28	76.40±0.21	0.61±0.05
15	61.70±0.16	70.15±0.20	65.85±0.15	0.49±0.11	72.45±0.15	79.60±0.18	75.60±0.15	0.52±0.07
18	62.05±0.12	70.25±0.18	66.35±0.17	0.54±0.18	72.55±0.21	80.20±0.23	75.80±0.09	0.59±0.04
20	62.00±0.08	69.90±0.08	66.00±0.20	0.43±0.13	71.90±0.11	79.40±0.17	74.90±0.24	0.47±0.09
22	62.55±0.13	70.95±0.14	66.90±0.18	0.63±0.19	73.75±0.14	80.70±0.19	76.90±0.21	0.63±0.07
25	63.50±0.12	71.30±0.17	67.85±0.07	0.50±0.14	73.10±0.08	79.90±0.18	75.85±0.07	0.48±0.05

注:  $T_g$ 起始糊化温度;  $T_c$ 结束糊化温度;  $T_p$ 峰值糊化温度;  $\Delta H$ 糊化焓。

由表3可知,混粉有2个糊化峰,第1个为糊化温度66 °C附近,第2个为糊化温度75 °C附近。随着膳食纤维添加量的增加,混粉的2个糊化峰均呈缓慢上升的变化趋势。经测定得马铃薯淀粉的 $T_g$ 、 $T_c$ 和 $T_p$ 分别为72.25、81.9 °C和76.8 °C,  $\Delta H$ 为1.57 J/g。对比马铃薯淀粉的热特性结果可知,马铃薯淀粉只有1个糊化峰,因此混粉中

的第2个糊化峰为马铃薯淀粉。第1个糊化峰可能是小麦粉,这是因为混粉中小麦粉的质量分数为70%左右。朱凡等<sup>[32]</sup>测定的小麦粉的糊化峰在65℃附近,与本研究实验测定的结果相近。膳食纤维的添加对淀粉糊化特性的影响有2个方面,一是在糊化体系中,膳食纤维的添加减少了单位糊化体系中的淀粉含量,降低了淀粉浓度,导致糊化温度升高<sup>[30]</sup>,而膳食纤维和淀粉是2种性质不同的物质,膳食纤维对糊化淀粉中淀粉-淀粉之间形成的网络结构有隔离和断裂作用,膳食纤维对淀粉浓度的稀释作用和对浆糊网络结构的隔离作用能使糊化温度的升高;二是膳食纤维中的亲水基团,有很强的吸水膨胀特性,影响了体系的水分活性,降低了糊化体系中可利用的自由水分,阻碍可利用水分的转运,淀粉/水的比例不同程度的增大能使糊化温度降低,这两方面共同影响体系的糊化特性,前者的升高作用大于后者的降低作用,导致体系糊化温度的升高<sup>[33]</sup>。

## 2.4 马铃薯膳食纤维添加量对生鲜热干面蒸煮特性分析

### 2.4.1 断条率测定结果

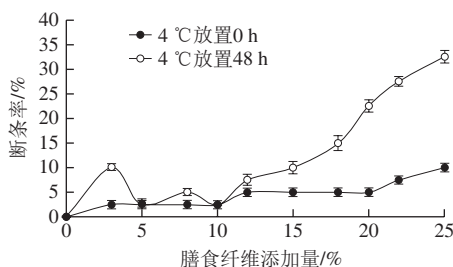


图4 膳食纤维添加量对生鲜热干面断条率的影响

Fig. 4 Effect of potato dietary fiber addition on breaking rate of hot dry noodles

如图4所示,放置48 h的样品,随着膳食纤维添加量的增加,断条率呈上升趋势。当膳食纤维添加量小于12%时,放置0 h和放置48 h样品断条率都较低,且2组样品间的差异不明显;当膳食纤维质量分数超过12%时,2组样品断条率差异变大,放置0 h样品断条率上升不明显;当膳食纤维添加量在22%时,放置0 h样品断条率上升趋势变大,但仍然低于相同添加量放置48 h样品;放置48 h样品断条率在膳食纤维添加量为12%~25%时呈现快速上升趋势。

### 2.4.2 吸水率测定结果

由图5可知,当混粉中膳食纤维含量在0%~25%时,吸水率的整体变化没有明显规律,除膳食纤维添加量25%的鲜面条(放置48 h)吸水率有较大上升外,其余膳食纤维添加量对2组样品吸水率影响不明显。师俊玲等<sup>[34]</sup>研究淀粉含量对面条部分品质的影响规律,结果表明,淀粉含量与面条吸水率、干物质失落率呈显著正相关。淀粉和膳食纤维含量对面条吸水率都有影响,只有当两

者间的比例合适时,才能使面条品质达到最佳状态,任何一个条件过高或过低都会对面条品质带来不利影响。

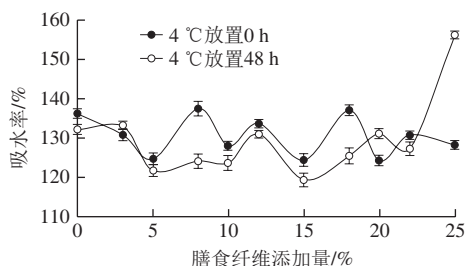


图5 膳食纤维添加量对生鲜热干面吸水率的影响

Fig. 5 Effect of potato dietary fiber addition on water absorption rate of hot dry noodles

### 2.4.3 蒸煮损失率测定结果

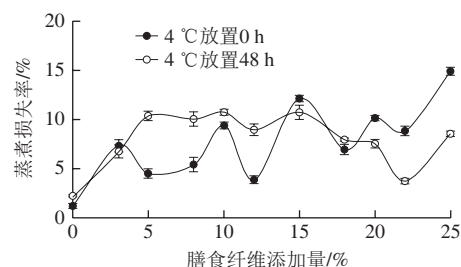


图6 膳食纤维添加量对生鲜热干面蒸煮损失率的影响

Fig. 6 Effect of potato dietary fiber addition on cooking loss rate of hot dry noodles

如图6所示,当膳食纤维添加量在0%~3%和22%~25%时,随着膳食纤维添加量的增加,蒸煮损失率呈大幅增加的变化趋势;当膳食纤维添加量在3%~20%时,蒸煮损失率呈上下波动的变换趋势。当膳食纤维添加量在5%~15%时,48 h放置样品蒸煮损失率基本高于0 h放置样品。

### 2.4.4 膳食纤维添加量对生鲜热干面质构特性的影响

#### 2.4.4.1 黏度测定结果

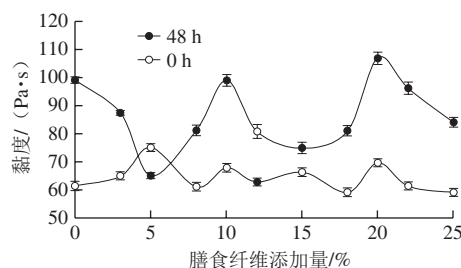


图7 膳食纤维添加量对生鲜热干面黏度的影响

Fig. 7 Effect of potato dietary fiber addition on viscosity of hot dry noodles

由图7可知,放置0 h样品的黏度随膳食纤维添加量的增加,呈先上升后下降的不规律变化趋势,而放置48 h

样品黏度随膳食纤维添加量的增加,呈先下降后上升的不规律变化趋势,且放置0 h样品的黏度总体上比放置48 h样品低。当混粉中膳食纤维添加量在8%~25%时,生鲜热干面的黏度变化趋势相似,且放置48 h样品的黏度大于放置0 h的样品。

#### 2.4.4.2 剪切力测定结果

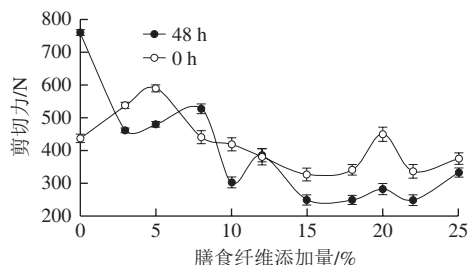


图8 膳食纤维添加量对生鲜热干面剪切力的影响

Fig. 8 Effect of potato dietary fiber addition on shear force of hot dry noodles

如图8所示,随着膳食纤维添加量的增加,2组样品的剪切力整体呈下降趋势。当膳食纤维添加量大于3%时,放置0 h样品的剪切力基本高于放置48 h样品的剪切力;当膳食纤维添加量大于10%后,放置不同时间的热干面的剪切力随膳食纤维添加量增加的变化趋势相似。

#### 2.4.4.3 拉伸力测定结果

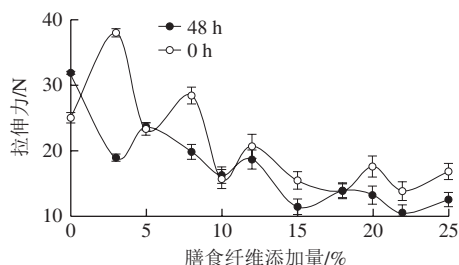


图9 膳食纤维添加量对生鲜热干面拉伸力的影响

Fig. 9 Effect of potato dietary fiber addition on tensile strength of hot dry noodles

如图9所示,随着膳食纤维添加量的增加,2组样品的拉伸力整体呈下降趋势,这是因为膳食纤维蓬松的结构添加到面粉中不易与面粉融合使得面条易断裂,从而拉伸力减小。膳食纤维添加量超过3%后,放置48 h样品剪切力低于放置0 h样品剪切力。

### 2.5 马铃薯膳食纤维添加量对热干面消化特性分析

#### 2.5.1 淀粉消化特性

如表4所示,随着马铃薯膳食纤维添加量的增加,SDS渐升高,RDS逐渐降低,这是因为膳食纤维有降血糖的功能,能延缓淀粉分解为葡萄糖,所以SDS和RDS变化趋势不同。

表4 膳食纤维添加量对热干面淀粉消化特性的影响

Table 4 Starch digestion characteristics of hot dry noodles with different amounts of added dietary fiber

膳食纤维添加量/%	总淀粉	RDS	SDS	RS
0	74.60±0.12	19.88±0.09	20.63±0.10	34.09±0.14
3	73.79±0.14	19.61±0.06	22.54±0.08	31.64±0.11
5	73.25±0.18	19.15±0.03	23.26±0.09	30.84±0.16
8	72.44±0.20	17.16±0.05	25.21±0.11	30.07±0.12
10	71.90±0.11	16.93±0.04	28.46±0.09	26.51±0.10
12	71.36±0.19	15.33±0.09	29.22±0.07	26.81±0.11
15	70.55±0.17	14.12±0.04	30.09±0.05	26.34±0.16
18	69.74±0.12	10.12±0.02	31.51±0.12	28.11±0.12
20	69.20±0.13	8.46±0.04	33.39±0.13	27.35±0.13
22	68.66±0.10	8.43±0.03	33.51±0.10	26.72±0.10
25	67.85±0.11	7.91±0.02	35.94±0.09	24.00±0.09

#### 2.5.2 蛋白质消化特性

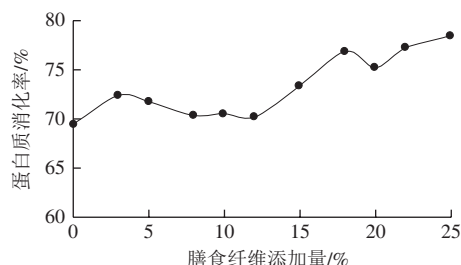


图10 膳食纤维添加量对热干面蛋白质消化特性的影响

Fig. 10 Protein digestible characteristics of hot dry noodles with different amounts of added dietary fiber

如图10所示,当混粉中膳食纤维添加量在0%~3%和12%~25%时,随着马铃薯膳食纤维添加量的增加,蛋白质消化率呈逐渐上升的变化趋势;当混粉中膳食纤维添加量在3%~12%时,随着马铃薯膳食纤维添加量的增加,蛋白质消化率呈缓慢下降的变化趋势。综上所述,马铃薯膳食纤维有利于人体对蛋白质的消化吸收。

### 3 结论

混粉中不同膳食纤维添加量的持水性、吸水膨胀性随膳食纤维添加量的增加而升高;同一温度条件下,混粉的黏度随混粉中马铃薯膳食纤维添加量的增加而减小;同一膳食纤维添加量条件下,混粉的黏度随温度的升高而呈现降低趋势。混粉有2个糊化峰,第1个为糊化温度66℃附近,第2个为糊化温度75℃附近。随着膳食纤维添加量的增加,混粉的2个糊化峰均呈缓慢上升的变化趋势。膳食纤维的加入导致体系糊化温度的升高。

膳食纤维在一定程度上改善了马铃薯热干面的品质:随着膳食纤维添加量的增加,热干面的吸水率、蒸煮损失率呈不规律变化趋势;其剪切力及拉伸能力整体

上呈逐渐减小的变化趋势。膳食纤维能延缓面条中淀粉的分解,具有降血糖的功能,且膳食纤维能增加面条中蛋白质的消化率。综上所述,膳食纤维的建议添加量为5%~12%。

#### 参考文献:

- [1] 杜连启, 高海生, 李军, 等. 甘薯全粉生产工艺及贮藏对全粉产率和营养影响的研究[J]. 粮油加工, 2010(4): 61-64.
- [2] 杨炳南, 张小燕, 赵凤敏, 等. 常见马铃薯品种特性分析及加工适宜性分类[J]. 食品科学, 2016, 34(1): 28-36. DOI:10.3969/j.issn.2095-6002.2016.01.005.
- [3] MAYER F, HILLEBRANDT J O. Potato pulp: microbiological characterization, physical modification, and application of this agricultural waste product[J]. Applied Microbiology and Biotechnology, 1997, 48: 435-440. DOI:10.1007/s002530051076.
- [4] 杨希娟. 马铃薯渣开发利用前景分析[J]. 粮食加工, 2009, 34(6): 68-70.
- [5] GALISTEO M, DUARTE J, ZARZUELO A. Effects of dietary fibers on disturbances clustered in the metabolic syndrome[J]. Journal of Nutritional Biochemistry, 2008, 19(2): 71-84. DOI:10.1016/j.jnutbio.2007.02.009.
- [6] ZHANG M, BAI X, ZHANG Z S. Extrusion process improves the functionality of soluble dietary fiber in oat bran[J]. Journal of Cereal Science, 2011, 54: 98-103. DOI:10.1016/j.jcs.2011.04.001.
- [7] ZHANG N, HUANG C H, OU S Y. *In vitro* binding capacities of three dietary fibers and their mixture for four toxic elements, cholesterol and bile acid[J]. Journal of Hazardous Materials, 2011, 186(1): 236-237. DOI:10.1016/j.jhazmat.2010.10.120.
- [8] ROBERT E, ARCH G, DANA E, et al. Diet fiber for the treatment of type 2 diabetes mellitus: a meta-analysis[J]. American Board of Family Medicine, 2012, 25(1): 16-23. DOI:10.3122/jabfm.2012.01.110148.
- [9] RACHEL R H, MARK W, PETER C. The epidemiologic evidence and potential biological mechanisms for a protective effect of diet fiber on the risk of colorectal cancer[J]. Current Nutrition Reports, 2013, 2(1): 63-70. DOI:10.1007/s13668-012-0030-2.
- [10] ESPOSITO F, ARLOTTI G, BONIFATI A M, et al. Antioxidant activity and dietary fiber in durum wheat bran by-products[J]. Food Research International, 2005, 38(10): 1167-1173. DOI:10.1016/j.foodres.2005.05.002.
- [11] 马春红, 马雄平, 延志莲. 陕北马铃薯渣中膳食纤维的提取[J]. 延安大学学报, 2010, 29(2): 84-86. DOI:10.3969/j.issn.1004-602X.2010.02.024.
- [12] 梅新, 陈学玲, 关键, 等. 马铃薯渣膳食纤维物化特性的研究[J]. 湖北农业科学, 2014, 53(19): 4666-4670. DOI:10.14088/j.cnki.issn0439-8114.2014.19.042.
- [13] 廖红梅, 钟葵, 赵俊杰, 等. 马铃薯膳食纤维碱法处理工艺优化[J]. 食品工业科技, 2013, 34(11): 177-181. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2013.11.045.
- [14] 吴海燕, 盖春慧, 钟振声. 新鲜马铃薯渣同时制备膳食纤维和蛋白的研究[J]. 现代食品科技, 2012, 28(2): 160-163. DOI:10.13982/j.mfst.1673-9078.2012.02.017.
- [15] 程力, 张献梅, 顾正彪, 等. 纤维素酶法制备马铃薯渣可溶性膳食纤维的理化及功能性质[J]. 食品与发酵工业, 2015, 41(11): 41-46. DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.201511008.
- [16] 冯志强, 李梦琴, 刘燕燕. 生物酶法提取麦麸膳食纤维的研究[J]. 现代食品科技, 2006, 22(1): 8-10. DOI:10.13982/j.mfst.1673-9078.2006.01.003.
- [17] 李放, 张亚宏, 康玉凡, 等. 不同蚕豆品种种皮中膳食纤维的提取及其理化特性[J]. 食品科学, 2016, 37(16): 22-28. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201616004.
- [18] 王大为, 郭雪飞, 杨羿. 高温高压挤出处理对玉米皮膳食纤维溶解特性及物性的影响[J]. 食品科学, 2011, 32(13): 84-88.
- [19] 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. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2012.16.092.
- [20] 钟希琼, 胡文娥, 林丽超. 膳食纤维对油脂、胆固醇、胆酸钠和亚硝酸根离子吸附作用的研究[J]. 食品工业科技, 2010, 31(5): 134-137. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2010.05.052.
- [21] 王艳丽, 刘凌, 孙慧, 等. 膳食纤维的微观结构及功能特性研究[J]. 中国食品添加剂, 2014(2): 98-103. DOI:10.3969/j.issn.1006-2513.2014.02.011.
- [22] 刘忠义, 欧昌荣, 汤海青, 等. 3,5-二硝基水杨酸法测定葡萄酒中总糖含量的条件优化[J]. 核农学报, 2013, 27(11): 1717-1723. DOI:10.11869/hnxb.2013.11.1717.
- [23] 李环, 陆佳, 王登进. DNS法测定山楂片中还原糖含量的研究[J]. 食品工业科技, 2013, 34(18): 75-77. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2013.18.043.
- [24] 苏钰亨, 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. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201403021.
- [25] 张艳荣, 魏春光. 马铃薯膳食纤维的表征及物性分析[J]. 食品科学, 2013, 34(11): 19-23. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201311005.
- [26] 张雷雷, 张玲. 膳食纤维及制品质量标准的介绍[J]. 粮谷与食品工业, 2009, 16(2): 43-47. DOI:10.3969/j.issn.1672-5026.2009.02.015.
- [27] KAH W, PETER C K. Dietary fibers from mushroom sclerotia: 1. Preparation and physicochemical and functional properties[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2005, 53: 9395-9400. DOI:10.1021/jf0510788.
- [28] 戚勃, 李来好. 膳食纤维的功能特性及在食品工业中的应用现状[J]. 现代食品科技, 2006, 22(3): 272-279. DOI:10.13982/j.mfst.1673-9078.2006.03.096.
- [29] 闫巧珍, 高瑞雄, 邢沁淦, 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. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2016.22.026.
- [30] 许维娜. 豆渣及膳食纤维对马铃薯淀粉特性影响的研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2013: 48-49.
- [31] 赵一川. 微波处理麦麸回添制备高纤维粉研究[D]. 郑州: 河南工业大学, 2015: 32-34.
- [32] 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. DOI:10.3321/j.issn:1002-6630.2007.04.066.
- [33] 陈建省, 田纪春, 谢全刚, 等. 麦麸添加量和粒度对小麦淀粉糊化特性的影响[J]. 中国粮油学报, 2010, 25(11): 18-24.
- [34] 师俊玲, 魏益民, 欧阳昭晖, 等. 蛋白质和淀粉含量对面条品质的影响研究[J]. 郑州工程学院学报, 2001, 22(1): 32-35. DOI:10.16433/j.cnki.issn1673-2383.2001.01.007.