

## 制面方式对煮制面条粘连的影响

常战战<sup>1,2</sup>, 王纪鹏<sup>1,2</sup>, 刘云祎<sup>1,2</sup>, 张龙涛<sup>\*1,2</sup>, 缪松<sup>2,3</sup>, 郑宝东<sup>1,2</sup>

(1. 福建农林大学 食品科学学院, 福建 福州 350002; 2. 中国-爱尔兰国际合作食品物质学与结构设计研究中心, 福建 福州 350002; 3. 爱尔兰农业部 Teagasc 食品研究中心, 爱尔兰 科克市 999014)

**摘要:** 通过二硫键含量测定, 并采用十二烷基硫酸钠-聚丙烯酰胺凝胶电泳(SDS-PAGE)、傅里叶变换红外光谱(FTIR)、扫描电子显微镜(SEM)等手段, 研究了制面方式(挤出、切面)和加水量(质量分数)对煮制面条粘连的影响, 并分析其作用机理。结果表明, 切面方式所制得面条亮度以及烹煮后的表面黏性显著低于( $P<0.05$ )挤出方式, 硬度和蒸煮品质无显著区别。压面时压延过程导致面条中的 $\alpha$ -螺旋结构降低, 二硫键含量增加, 有助于形成致密而连续的面筋网络结构, 可抑制淀粉颗粒的糊化和逸出。此外, 加水量为35%~37%时, 随着加水量的增加, 两种工艺所得面条的亮度和烹煮后的表面黏性、硬度均显著降低( $P<0.05$ ), 但面条面筋网络和表面结构均得到改善。本研究结果可为面条挤出工艺改进提供参考, 也可为面条加工工艺优化提供依据。

**关键词:** 煮制面条; 制面方式; 粘连; 面筋网络; 微观结构

中图分类号: TS213.2 文章编号: 1673-1689(2021)06-0076-10 DOI: 10.3969/j.issn. 1673-1689.2021.06.010

## Effect of Noodle Processing Technology on Adhesion of Cooked Noodles

CHANG Zhanzhan<sup>1,2</sup>, WANG Jipeng<sup>1,2</sup>, LIU Yunyi<sup>1,2</sup>,  
ZHANG Longtao<sup>\*1,2</sup>, MIAO Song<sup>2,3</sup>, ZHENG Baodong<sup>1,2</sup>

(1. College of Food Science, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China; 2. China-Ireland International Cooperation Centre for Food Material Science and Structural Design, Fuzhou 350002, China; 3. Teagasc Food Research Centre, Ministry of Agriculture, Co. Cork 999014, Ireland)

**Abstract:** Effects of noodle processing technology (extrusion, cutting) and water content (mass fraction) on adhesion of cooked noodle were investigated by disulfide bond content determination, sodium dodecyl sulfate polyacrylamide gel electrophoresis (SDS-PAGE), Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR), scanning electron microscope (SEM) and etc., and the mechanism was also discussed. Results showed that the brightness and surface viscosity of noodles prepared by cutting were significantly lower ( $P<0.05$ ) than those prepared by extrusion. No significant difference was observed in hardness and cooking quality. The sheeting procedure induced the decrease of  $\alpha$ -helix structure and the increase of disulfide bonds content in noodles, favoring the formation of a dense and continuous gluten network which inhibited the gelatinization and escape of starch granules. Additionally, the brightness of noodles, the surface tackiness and hardness of cooked noodles

收稿日期: 2020-12-14

基金项目: 福建省星火计划项目(2020S0024); 福建省对外合作项目(2020I0011)。

\* 通信作者: 张龙涛(1979—), 男, 博士, 教授, 硕士研究生导师, 主要从事食品科学研究。E-mail: zlongtao@fafu.edu.cn

obtained by both processing technology decreased significantly ( $P<0.05$ ) with the increase of water content in the range of 35%~37%, while the gluten network and surface structure were improved. The results could provide a reference for the improvement of noodle extrusion technology, and also provide a basis for the optimization of noodle processing technology.

**Keywords:** cooked noodles, noodle processing technology, adhesion, gluten network, microstructure

面条是一种制作简单、食用方便的传统面制品,中国约 40%的小麦用于各种类型的面条生产<sup>[1]</sup>。以沙县小吃为代表的快餐已成为中国城市普通百姓重要的饮食方式,其中拌面更是深受广大消费者喜爱。随着生活节奏加快,消费习惯和销售行为的变化,外卖快餐已经成为食品消费的主要方式。然而普通小麦面条煮后放置数分钟就会粘连在一起,导致面条的外观和食用品质严重降低,这已成为制约该品项在外卖渠道销售、消费者享用方面的主要问题。

面条在烹煮过程中淀粉颗粒浸出并吸附在面条的表面上,从而导致面条粘连<sup>[2-3]</sup>。良好的面筋网络结构可减少支链淀粉双螺旋的破坏和蒸煮过程中直链淀粉的溶解,降低面条的黏性<sup>[4]</sup>。作者所在团队先前的研究发现,添加质量分数 1%的单甘酯(Glyceryl monostearate, GMS)可增强面筋蛋白网络结构以及抑制淀粉的糊化、溶出,减少煮制面条之间的粘连<sup>[5]</sup>。除添加物外,制面工艺也是面条面筋网络结构形成的重要影响因素。真空和面有助于形成更均匀和连续的面筋网络结构<sup>[6]</sup>,适宜的真空度可诱导更高的蛋白质聚合度<sup>[7]</sup>。适宜的醒发时间可诱导游离巯基向二硫键转变以及麦谷蛋白大聚体的聚合<sup>[8]</sup>。根据面团成型方式,可分为切面和挤出两种。传统机器切面先经过压延程序,将面团压延成片,面刀切制成型。适宜的压延次数可诱导二硫键的形成,促进面筋网络结构的形成<sup>[9-10]</sup>。近年来,新出现的家用和商用小型厨用设备,采用螺杆把面团直接通过膜孔挤出,减少了面带压延程序,使面条制作更简便。面团经过螺杆的挤压、剪切过程,一定程度上也可增强面团中小麦蛋白质的聚集程度,促进面团面筋网络结构的形成。然而,两种不同的制面方式工艺上存在着显著的区别,面筋网络结构的形成也大不相同,对面条品质(特别是煮制面条的品质)以及粘连的影响和发生机理均未见相关比较研究。

作者通过测定面条的品质特性和蛋白质结构、微观结构的变化,分析制面方式(挤出、切面)和加水量对煮制面条粘连的影响和作用机理。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

中筋面粉:中粮(郑州)粮油工业有限公司产品;单硬脂酸甘油酯:广州嘉德乐生化科技有限公司产品;食盐:江苏井神盐化股份有限公司产品;溴化钾(光谱级):上海麦克林公司产品;其余所用试剂均为国产分析纯。

### 1.2 仪器设备

海氏厨师机:青岛汉尚电器有限公司产品;压面机:永康市富康电器有限公司产品;M6-L20 九阳面条机:九阳股份有限公司产品;TA-XT plus 质构仪:英国 stable micro systems 公司产品;冷冻干燥机:上海爱朗仪器有限公司产品;HH-6 数显恒温水浴锅:常州国华电器有限公司产品;Allegra X-30 台式高速离心机:美国 BECKMAN COULTER 公司产品;VERTEX 70 傅立叶变换红外光谱仪:布鲁克(北京)科技有限公司产品;ADCI 系列全自动色差计:北京辰泰克仪器技术有限公司产品;UV-1800 型紫外可见分光光度计:上海美谱达仪器有限公司产品;电磁炉:广东美的生活电器制造有限公司产品;小型垂直电泳仪:上海巴玖实业有限公司产品;Quanta 250 电子显微镜:美国 FEI 公司产品。

### 1.3 面条的制备

称取面粉 500 g、食用盐 5 g、GMS 5 g,加水量(质量分数)分别为 35%(175 g)、36%(180 g)、37%(185 g)、38%(190 g)。将 GMS 置于部分水中加热使其溶胀后冷却,并将食用盐溶于剩余的水中。将面粉置于和面机中,加水和面 6 min,然后面粒熟化 10 min。取部分面粒压延制备面片,设定面刀切面等程序制备宽度和厚度均为 2 mm 的生鲜面条。另一

部分通过九阳面条机采用螺杆把面粒通过 2 mm 的膜孔挤出制成宽度和厚度均为 2 mm 的生鲜面条。部分生鲜面条经冻干机冻干后粉碎过 80 目备用。样品根据制面方式及加水量进行命名,分别为“挤出 35”、“挤出 36”、“挤出 37”、“挤出 38”、“切面 35”、“切面 36”、“切面 37”、“切面 38”。

#### 1.4 煮制面条表面黏性的测定

煮制面条表面黏性的测定参照刘会晓等<sup>[11]</sup>方法,略做改动。测定选用质构仪中 Cooked Lasagne 程序以及直径 36 mm 的圆柱形探头。具体操作步骤为:从制备好的生鲜面条中取 50 g,在 1 L 蒸馏水微沸状态下烹煮 5 min 后捞出,沥水后将其平铺在吸水纸上分别放置 10、20、30 min 后测定其表面黏性。仪器设置为:测试前、中、后速度分别为 1、0.5、5.0 mm/s,作用力 1 000 g,返回距离 10 mm,接触时间 2 s。测定时将煮制面条置于测试板上整齐排列,使其面积大于探头面积。每组实验平行 6 次,取其平均值。

#### 1.5 煮制面条硬度的测定

煮制面条硬度的测定参照 Zhu 等<sup>[12]</sup>方法,略做改动。称取 25 g 生鲜面条,在 500 mL 蒸馏水微沸状态下烹煮 5 min 后捞出,沥水后将其平铺在吸水纸上,分别在 10、20、30 min 后取 5 根面条并排放置在测试板的中央,测定其硬度。仪器设置为:测试前、中、后速度均为 2.0 mm/s,应变 70%,触发力 5.0 g。记录硬度数值,每组实验平行 6 次,取其平均值。

#### 1.6 吸水率、蒸煮损失的测定

面条吸水率、蒸煮损失率的测定参照 Liu 等<sup>[13]</sup>方法并略做改动,具体操作步骤如下。称取 25 g 生鲜面条并记作  $m_1$ ,在 500 mL 沸水中烹煮 5 min 后捞出,少量水冲洗之后用 5 张滤纸吸去多余的水分,称质量记为  $m_2$ 。收集面汤和冲洗水,并用蒸馏水补充至 500 mL。摇晃均匀后取 100 mL 放入干燥的烧杯中(烧杯质量记为  $m_3$ ),并在 105 °C 的烘箱中烘干至质量恒定后称质量记为  $m_4$ 。每组实验重复 3 次,取平均值。

$$W_1(\%) = \frac{(m_2 - m_1)}{m_1} \times 100\% \quad (1)$$

$$W_2(\%) = \frac{5 \times (m_4 - m_3)}{m_1} \times 100\% \quad (2)$$

式中: $W_1$ 为吸水率,%; $m_1$ 为生鲜面条质量,g; $m_2$ 为煮煮后面条质量,g; $W_2$ 为蒸煮损失率,%; $m_3$ 为空烧杯质量,g; $m_4$ 为干物质和烧杯总质量,g。

#### 1.7 色泽的测定

将面条样品并排放置在保鲜膜上,包裹密封后进行颜色测量。 $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$ 分别表示面条的亮度、红绿值和黄蓝值。

#### 1.8 SDS-PAGE 分析

根据 Jia 等所述的方法<sup>[14]</sup>分别在还原和非还原条件下进行 SDS-PAGE 分析,并略做改动。将冷冻干燥的面条样品 50 mg 溶解在 1.0 mL 样品缓冲液(pH 6.8、0.01 mol/L Tris-HCl、体积分数 10%甘油、质量分数 10% SDS 和质量分数 0.1%溴酚蓝)中,还原条件下的 SDS-PAGE 需向样品缓冲液中添加体积分数 5%的 $\beta$ -巯基乙醇。沸水煮制 5 min 后将样品溶液在 6 000 g 条件下离心 10 min。然后将 10  $\mu$ L 上清液加载到凝胶板上,该板上含有体积分数 12%的分离凝胶(pH 8.8)和体积分数 5%的堆积凝胶(pH 6.8),电泳过程中的电压为 100 V。用质量分数 0.25%的考马斯亮蓝对凝胶染色,体积分数 10%乙酸脱色。

#### 1.9 游离巯基和二硫键含量的测定

二硫键含量的测定参照罗明江等<sup>[15]</sup>方法,具体操作步骤如下。

1)试剂的配制 Tris-甘氨酸缓冲液:10.4 g Tris,6.9 g 甘氨酸,1.2 g EDTA;用 0.1 mol/L 的 HCl 调 pH 至 8.0,定容至 1 000 mL。Ellman's 试剂:称取 100 mg 5,5'-二巯基双-2-硝基苯甲酸,使用 Tris-甘氨酸缓冲液定容至 25 mL。

2)测定方法 准确称取 75 mg 面条样品于 1 mL Tris-甘氨酸缓冲液中,混合均匀后添加 4.7 g 盐酸胍,并用缓冲液定容至 10 mL。测定巯基时,取 1 mL 样品溶液,加 4 mL 脲-盐酸胍溶液和 0.05 mL Ellman's 试剂,于 412 nm 处测定吸光度。测定二硫键时,取 1 mL 样品溶液,加 0.05 mL 巯基乙醇和 4 mL 脲-盐酸胍溶液,于 25 °C 保温 1 h,然后加入 10 mL 质量分数 12%的三氯乙酸,继续于 25 °C 保温 1 h,5 000 g 离心 10 min 后用 5 mL 质量分数 12%的三氯乙酸清洗沉淀物 2 次,之后将沉淀物溶于 10 mL 8 mol/L 脲中,加 0.04 mL Ellman's 试剂,于 412 nm 处测定吸光度。计算公式为:

$$X_1(\mu\text{mol/g}) = \frac{(73.53A_{412\text{nm}} \times D)}{c} \quad (3)$$

式中: $X_1$ 为游离巯基质量摩尔浓度, $\mu\text{mol/g}$ ; $A_{412\text{nm}}$ 为 412 nm 波长下吸光度; $c$ 为样品质量浓度,mg/mL; $D$

为稀释因子, 巯基取5.02, 总巯基(巯基+还原二硫键)取10。

$$X_2(\mu\text{mol/g}) = \frac{(N_2 - N_1)}{2} \quad (4)$$

式中: $X_2$ 为二硫键质量摩尔浓度, $\mu\text{mol/g}$ ;  $N_1$ 为还原前的巯基数; $N_2$ 为还原后的巯基数。

### 1.10 傅里叶变换红外光谱(FTIR)

面条中蛋白质二级结构的测定参照Hu等<sup>[16]</sup>方法,具体操作步骤如下:准确称取2 mg的样品、198 mg的溴化钾置于研钵中,在聚光灯下将样品充分研磨混合。取适量研磨后的样品进行压片并做全波长扫描测定,以空气做空白。波长范围是400~4 000  $\text{cm}^{-1}$ ,分辨率4  $\text{cm}^{-1}$ ,扫描时间16 s,信号扫描累计次数32次,得出红外光谱图。使用Peak Fit软件(版本4.12)对酰胺I区(1 600~1 700  $\text{cm}^{-1}$ )进行基线校准,然后高斯去卷积,最后使用二阶导数拟合。确定酰胺I区的吸收峰位置和面积。使用相应面积与酰胺I总条带面积之比计算各个二级结构的百分比。

面条经烹煮后冻干磨粉,过80目备用。称取2 mg的样品置于研钵中并加入适量的溴化钾,在聚光灯下将样品充分研磨混合。取适量研磨后的样品压片,并将其放入傅里叶红外光谱仪中进行测定,波长范围是400~4 000  $\text{cm}^{-1}$ ,分辨率4  $\text{cm}^{-1}$ ,扫描时间16 s,信号扫描累计次数32次,得出红外光谱图。所得红外光谱利用Omic软件进行处理。首先对800~1 200  $\text{cm}^{-1}$ 范围内的谱图进行傅里叶自去卷积处理,设置半峰宽和增强因子分别为19  $\text{cm}^{-1}$ 和1.9,得到1 047  $\text{cm}^{-1}$ 和1 022  $\text{cm}^{-1}$ 处峰强度,计算1 047  $\text{cm}^{-1}$ 与1 022  $\text{cm}^{-1}$ 的峰强度比值<sup>[17]</sup>。

### 1.11 面条微观结构分析

面条微观结构分析参照文献[13]方法,略做改动。采用扫描电子显微镜观察面条表面的微观结构,首先将2~3根面条样品浸于体积分数2.5%的戊二醛溶液中固定4 h,固定完成后用0.1 mol/L的磷酸盐缓冲液对面条进行漂洗,然后进行梯度洗脱,分别用体积分数30%、50%、70%、80%、90%的乙醇溶液梯度洗脱1次,最后用无水乙醇洗脱2次,每次洗脱时间为15 min。最后对样品进行冷冻干燥后固定在载物台上,经离子溅射喷金处理4 min后,在加速电压为15.0 kV条件下分别放大300倍和600倍以观察面条表面的微观结构。

### 1.12 数据处理

所有测量至少重复3次,结果表示为平均值±标准差。使用OriginPro 8.6作图,并使用SPSS 20通过单向方差分析对数据进行分析。Duncan检验用于检验平均值之间的差异显著性, $P < 0.05$ 表示差异性显著。

## 2 结果与分析

### 2.1 制面方式对煮制面条品质的影响

面条在烹煮过程中淀粉颗粒浸出并吸附在面条的表面,导致面条的表面黏性升高,致密的面筋网络结构可以将淀粉紧密包裹,抑制淀粉颗粒的浸出,从而降低煮制面条的表面黏性<sup>[2]</sup>。与挤出方式相比,切面方式中的压延过程改善了面片的面筋网络结构,抑制面条在烹煮过程中淀粉颗粒的浸出,从而降低煮制面条的表面黏性(见表1)。在一定范围内,加水量的增加可促进面筋蛋白交联的作用,改善面筋网络结构<sup>[18]</sup>,降低煮制面条的表面黏性。雷恒森等也指出加水量的增加可降低煮制面条的黏附性<sup>[19]</sup>,这与本研究结果一致。但当加水量达到38%时,切面方式制备的面条烹煮后表面黏性又有所增加,这可能是因为压延过程对高含水量的面片面筋结构产生了负面影响。此外,煮制面条放置时间的延长导致面条表面的水分逐渐散失,面条表面糊化淀粉的浓度增加,从而导致煮制面条表面黏性增加<sup>[2]</sup>。

相同条件下,两种制面方式对煮制面条硬度变化影响无明显规律,加水量的增加降低了煮制面条的硬度(见表1)。这与其他研究结果<sup>[20-21]</sup>一致。当加水量过高时,和面过程中形成的面筋网络由于水分的增加会继续交联,变的松散,从而导致煮制面条弹性较差,硬度变小<sup>[22]</sup>。直链淀粉链的结合决定了淀粉凝胶的初始硬度以及淀粉类食物的黏性,随着煮制面条放置时间的增加,浸出淀粉颗粒的直链淀粉链形成网络结构,导致面条的硬度增加<sup>[23]</sup>。

吸水率主要与煮制面条中淀粉的糊化和面筋网络的膨胀有关<sup>[24-25]</sup>。由图1(a)可知,在35%、37%加水量条件下两种制面方式制备的面条吸水率无显著区别;加水量为36%时,挤出方式制备的面条吸水率显著高于切面方式制备的面条;加水量为38%时,挤出方式制备的面条吸水率显著低于切面方式制备的面条。由此可知加水量对两种制面方式的面筋网络结构影响显著。随着加水量的增加,挤出方式制备的面条吸水率呈现上升趋势,切面方式

制备的面条吸水率先降低后增加。面条内部淀粉颗粒的溶胀度随着吸水率的增加而增加,这可以减小面条的外围和内部的变化,从而导致硬度降低<sup>[26]</sup>。此外,由图 1(b)可知,制面方式和加水量的变化对面条的蒸煮损失均无显著影响。

面粉中的蛋白质、淀粉及天然色素等都会影响

生鲜面条的色泽。蛋白质含量与鲜湿面条的  $L^*$  值显著负相关,与  $a^*$  值和  $b^*$  值显著正相关,淀粉的使用将增加生鲜面条的亮度<sup>[27-28]</sup>。由表 2 可知,生鲜面条在同一条件下,挤出方式制备的面条亮度高于切面方式。淀粉含量的增加增强了淀粉颗粒对光的反射,致使光的反射率升高,亮度增加<sup>[29]</sup>。由此可知,

表 1 制面方式对煮制面条表面黏性和硬度的影响

Table 1 Effect of noodle processing technology on the surface tackiness and hardness of cooked noodles

样品	表面黏性/g			硬度/g		
	10 min	20 min	30 min	10 min	20 min	30 min
挤出 35	287.66±12.58 <sup>dA</sup>	306.53±13.21 <sup>dB</sup>	356.62±3.64 <sup>cC</sup>	5 040.12±106.63 <sup>cA</sup>	5 050.10±143.99 <sup>cA</sup>	5 590.55±192.53 <sup>cB</sup>
挤出 36	268.96±12.40 <sup>dA</sup>	295.14±5.79 <sup>dB</sup>	333.88±8.46 <sup>cC</sup>	4 639.76±269.82 <sup>dA</sup>	4 997.84±188.39 <sup>cA</sup>	5 532.84±346.09 <sup>cB</sup>
挤出 37	227.08±17.28 <sup>cA</sup>	252.55±15.48 <sup>cB</sup>	283.26±11.37 <sup>cC</sup>	3 923.89±40.96 <sup>cA</sup>	4 329.80±95.84 <sup>abB</sup>	4 250.15±172.97 <sup>abB</sup>
挤出 38	212.41±6.83 <sup>cA</sup>	225.78±14.60 <sup>bcA</sup>	247.45±11.08 <sup>bcB</sup>	3 942.99±68.04 <sup>cA</sup>	4 160.28±149.43 <sup>bcB</sup>	4 051.20±106.11 <sup>abB</sup>
切面 35	175.68±9.16 <sup>bA</sup>	208.42±11.25 <sup>bcB</sup>	245.99±9.85 <sup>bcC</sup>	4 962.62±146.51 <sup>cA</sup>	5 270.93±166.5 <sup>bcB</sup>	5 595.85±226.72 <sup>cC</sup>
切面 36	155.58±14.59 <sup>abA</sup>	173.10±16.93 <sup>aA</sup>	202.51±10.05 <sup>abB</sup>	4 582.37±178.55 <sup>cdA</sup>	4 615.47±368.03 <sup>baB</sup>	4 976.60±278.62 <sup>baB</sup>
切面 37	148.13±10.82 <sup>aA</sup>	168.85±11.24 <sup>abB</sup>	201.50±11.34 <sup>acC</sup>	4 318.81±195.2 <sup>bcA</sup>	4 627.24±179.01 <sup>baB</sup>	4 937.84±313.46 <sup>bcB</sup>
切面 38	231.15±15.40 <sup>cA</sup>	238.36±16.94 <sup>cAB</sup>	257.45±8.70 <sup>bcB</sup>	4 096.61±295.17 <sup>abA</sup>	4 135.00±166.73 <sup>abA</sup>	5 002.58±120.39 <sup>bcB</sup>

注:同列上标不同小写字母表示差异显著( $P<0.05$ );同行上标不同大写字母表示差异显著( $P<0.05$ )。

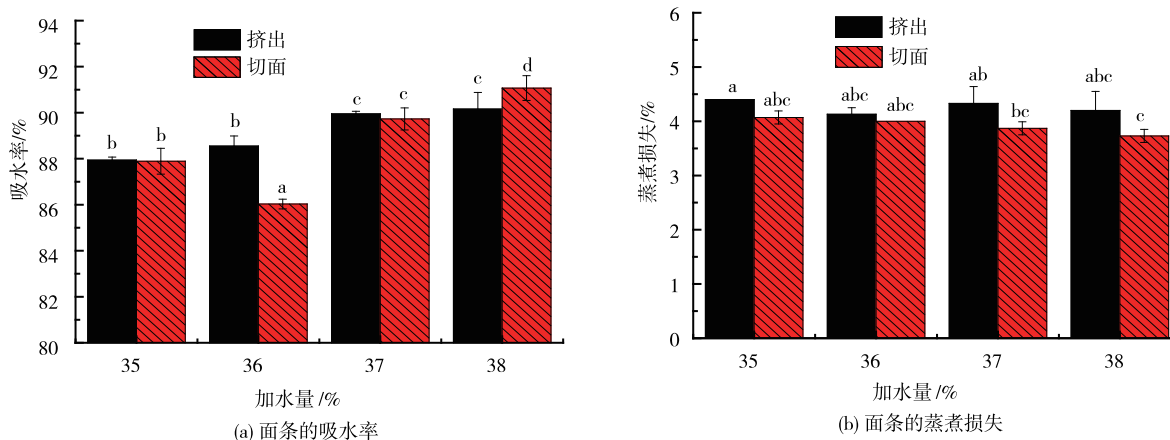


图 1 制面方式对面条蒸煮品质的影响

Fig. 1 Effect of noodle processing technology on cooking quality of noodles

表 2 制面方式对面条色泽的影响

Table 2 Effect of noodle processing technology on the color of noodles

样品	生鲜面条色泽			煮制面条色泽		
	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$L^*$	$a^*$	$b^*$
挤出 35	81.86±0.17 <sup>d</sup>	2.46±0.29 <sup>a</sup>	10.20±0.59 <sup>a</sup>	73.06±0.49 <sup>cd</sup>	-1.31±0.10 <sup>a</sup>	4.29±0.43 <sup>a</sup>
挤出 36	81.44±0.48 <sup>d</sup>	2.68±0.37 <sup>ab</sup>	11.63±0.36 <sup>b</sup>	72.39±0.30 <sup>cd</sup>	1.49±0.09 <sup>c</sup>	4.70±0.37 <sup>ab</sup>
挤出 37	79.47±0.51 <sup>bc</sup>	3.06±0.20 <sup>ab</sup>	12.71±0.63 <sup>b</sup>	72.15±0.35 <sup>b</sup>	1.57±0.04 <sup>cd</sup>	4.82±0.30 <sup>ab</sup>
挤出 38	79.31±0.36 <sup>bc</sup>	3.52±0.37 <sup>b</sup>	12.44±0.44 <sup>ab</sup>	71.19±0.26 <sup>a</sup>	2.52±0.38 <sup>c</sup>	5.33±0.31 <sup>b</sup>
切面 35	79.68±0.42 <sup>c</sup>	2.49±0.45 <sup>a</sup>	10.50±0.66 <sup>a</sup>	75.12±0.60 <sup>f</sup>	1.73±0.08 <sup>d</sup>	6.80±0.45 <sup>c</sup>
切面 36	79.49±0.48 <sup>bc</sup>	2.60±0.39 <sup>ab</sup>	12.21±0.48 <sup>ab</sup>	74.24±0.49 <sup>e</sup>	-1.35±0.06 <sup>a</sup>	6.58±0.41 <sup>c</sup>
切面 37	78.10±0.31 <sup>a</sup>	2.89±0.32 <sup>ab</sup>	12.69±0.41 <sup>b</sup>	73.50±0.34 <sup>de</sup>	2.36±0.04 <sup>c</sup>	7.00±0.25 <sup>cd</sup>
切面 38	78.74±0.51 <sup>ab</sup>	3.47±0.20 <sup>b</sup>	12.44±0.37 <sup>ab</sup>	74.16±0.51 <sup>e</sup>	-0.64±0.10 <sup>b</sup>	7.46±0.16 <sup>d</sup>

注:同列上标不同小写字母表示差异显著( $P<0.05$ )。

相较于切面方式,挤出方式制备的面条表面存在更多裸露的淀粉颗粒。加水量的增加降低了生鲜面条的亮度,这主要是由于面条水分含量高时,多酚氧化酶的活性高,催化大量酚类物质氧化形成醌类物质,后者发生自身聚合或与其他物质反应生成褐色沉淀物的缘故<sup>[30]</sup>。两种面条烹煮后亮度均有所降低,且挤出方式制备的面条烹煮后亮度低于切面方式(见表2),这是由于挤出方式制备的面条表面存在较多裸露的淀粉颗粒,淀粉吸水糊化后对光的反射变弱,从而导致面条发暗。

### 2.2 制面方式对面条面筋蛋白的影响

根据 1.10 中傅里叶红外光谱测得的谱图, 1 650~1 660  $\text{cm}^{-1}$  内的条带对应  $\alpha$ -螺旋, 1 605~1 615  $\text{cm}^{-1}$  和 1 625~1 640  $\text{cm}^{-1}$  的区域分别对应分子间和分子内  $\beta$ -折叠, 而  $\beta$ -转角和反平行  $\beta$ -折叠分别在 1 660~1 670  $\text{cm}^{-1}$  和 1 680~1 700  $\text{cm}^{-1}$  内具有条带<sup>[31]</sup>。由表 3 可知,与切面方式相比,挤出

方式制备的面条  $\alpha$ -螺旋增加,反平行  $\beta$ -折叠和  $\beta$ -转角降低。 $\alpha$ -螺旋是由蛋白质链内氢键引起的结构,而  $\beta$ -折叠是由蛋白质链间氢键引起的结构<sup>[32]</sup>。适当的压延次数可增加面团中的有序结构,两种制面方式中的压延次数过多将导致面团中的无序结构增加<sup>[33]</sup>。由此可知,切面制面方式中的压延过程破坏了面条面筋的分子间氢键,导致  $\alpha$ -螺旋转变为  $\beta$ -转角和反平行  $\beta$ -折叠。随着加水量的增加,反平行  $\beta$ -折叠和  $\beta$ -转角逐渐降低, $\alpha$ -螺旋和  $\beta$ -折叠逐渐增多。在一定范围内,加水量越高,面筋网络形成越充分,蛋白质交联排列有序,蛋白质分子链的  $\alpha$ -螺旋和  $\beta$ -折叠相对含量较高,进而表明蛋白质分子间的氢键作用增强<sup>[34]</sup>。

二硫键相对质量摩尔浓度可表示蛋白质之间的聚集水平。由图 2 可知,相较于挤出方式,切面方式制备的面条中游离巯基质量摩尔浓度降低,二硫键质量摩尔浓度升高。在以切面方式制备面条过程

表 3 制面方式对面条蛋白质二级结构相对含量的影响

Table 3 Effect of noodle processing technology on protein secondary structure of noodles %

样品	$\alpha$ -螺旋	$\beta$ -折叠	反平行 $\beta$ -折叠	$\beta$ -转角
挤出 35	22.78±0.84 <sup>abc</sup>	23.23±0.96 <sup>abc</sup>	9.86±0.46 <sup>ab</sup>	29.47±1.35 <sup>bcd</sup>
挤出 36	24.85±0.77 <sup>d</sup>	21.96±0.71 <sup>a</sup>	9.64±0.33 <sup>a</sup>	28.54±0.46 <sup>ab</sup>
挤出 37	23.99±0.70 <sup>bcd</sup>	23.30±0.97 <sup>abc</sup>	9.62±0.23 <sup>a</sup>	28.47±0.22 <sup>ab</sup>
挤出 38	24.08±0.50 <sup>cd</sup>	23.90±1.18 <sup>c</sup>	9.46±0.53 <sup>a</sup>	27.78±1.02 <sup>a</sup>
切面 35	22.21±0.38 <sup>a</sup>	22.29±1.03 <sup>ab</sup>	10.72±0.42 <sup>b</sup>	30.43±0.60 <sup>d</sup>
切面 36	22.44±0.13 <sup>a</sup>	22.66±0.33 <sup>abc</sup>	10.69±0.20 <sup>b</sup>	30.03±0.32 <sup>cd</sup>
切面 37	22.70±0.64 <sup>ab</sup>	23.97±0.41 <sup>c</sup>	10.36±0.23 <sup>ab</sup>	29.00±0.75 <sup>abc</sup>
切面 38	22.47±1.28 <sup>a</sup>	23.77±0.74 <sup>bc</sup>	9.51±1.22 <sup>a</sup>	29.97±0.52 <sup>cd</sup>

注:同列上标不同小写字母表示差异显著( $P<0.05$ )。

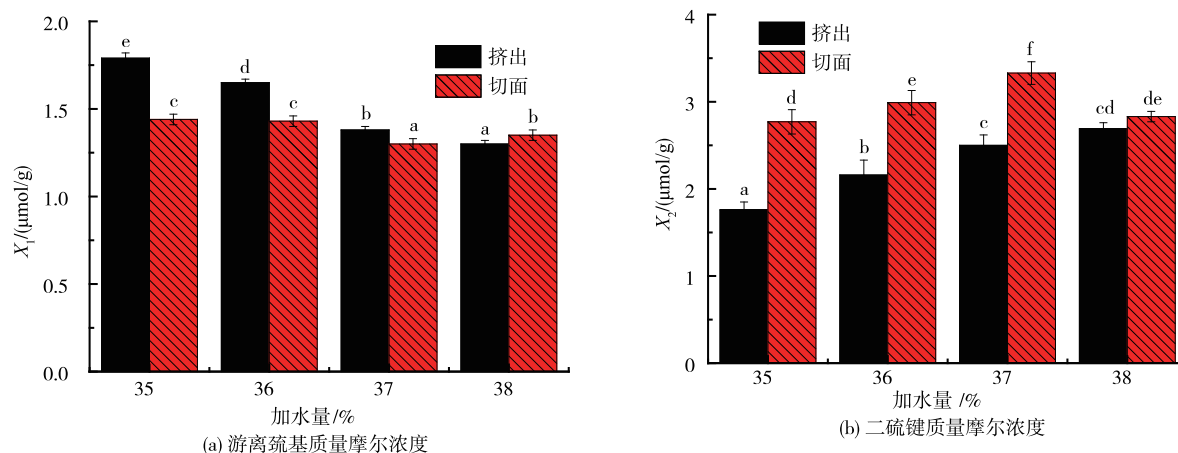


图 2 制面方式对面条中游离巯基和二硫键质量摩尔浓度的影响

Fig. 2 Effect of noodle processing technology on free sulfhydryl and disulfide bond contents of noodles

中,面团压延次数的增加可显著降低游离巯基的含量,使其氧化形成更多的二硫键,从而增强面筋网络结构<sup>[35]</sup>。适当的增加加水量可诱导游离巯基转变为二硫键,改善面筋网络结构,这与张毅<sup>[18]</sup>研究结果相似。但含水量较高时,压延过程对面片中二硫键的稳定性具有负面影响,导致二硫键质量摩尔浓度降低。

### 2.3 SDS-PAGE 凝胶电泳分析

采用还原和未还原的 SDS-PAGE 来分析面条中面筋蛋白分子大小分布的变化。与未还原的图谱相比,还原图谱分离凝胶顶部的条带强度显著降低,这表明链间二硫键在蛋白质聚集过程中起着主导作用。由图 3(b)可知,切面方式制备的面条蛋白质条带强度显著弱于挤出方式。这表明压延可诱导蛋白质的交联,导致更多的低相对分子质量蛋白质聚集并聚合成较大的聚合物,从而无法进入分离胶中,这与图 2(b)结果一致,切面方式将诱导更多的二硫键形成。而在还原图谱中(见图 3(a))由于巯基乙醇的添加,蛋白质亚基之间的二硫键被破坏,面筋蛋白大分子转变成小分子,从而导致图谱中小分子蛋白质条带颜色加深。随着加水量的增加,切面方式制备的面条蛋白质条带强度并无显著变化(见图 3(a)),而加水量达到 38% 时,还原图谱中挤出方式制备的面条蛋白质条带颜色显著加深。

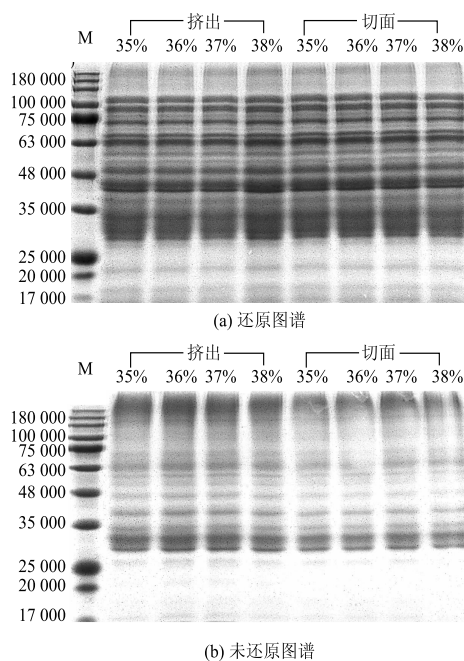
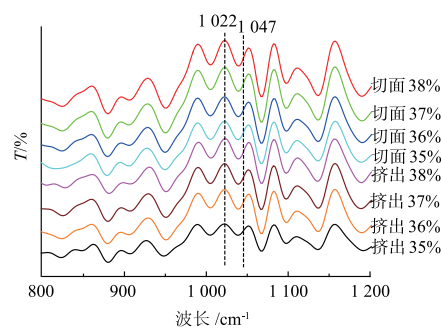


图 3 电泳图谱

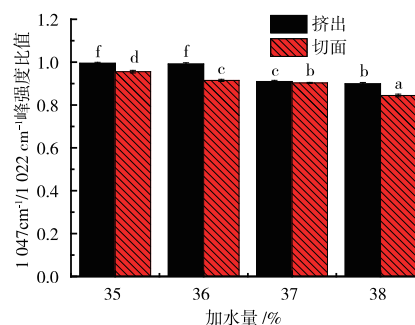
Fig. 3 SDS-PAGE pattern

### 2.4 制面方式对煮制面条淀粉短程有序性的影响

FTIR 对淀粉结晶、分子链的构象及螺旋结构的改变十分敏感,常用于淀粉短程有序结构的研究。1 047  $\text{cm}^{-1}$  处的吸收峰为结晶区的特征峰,对应淀粉分子的有序结构;1 022  $\text{cm}^{-1}$  附近的吸收峰对应淀粉的无定形区,两者峰强度比值可以用于表征淀粉分子的短程有序性,即淀粉分子中直链淀粉及支链淀粉的短链链段形成双螺旋结构。1 047  $\text{cm}^{-1}$  与 1 022  $\text{cm}^{-1}$  峰强度比值越大,淀粉的短程有序性越强,淀粉朝向结晶度高的方向发展,即老化程度加强<sup>[36]</sup>。由图 4 可知,在同一条件下,挤出方式制备的面条经烹煮后淀粉的 1 047  $\text{cm}^{-1}$  与 1 022  $\text{cm}^{-1}$  峰强度比值高于切面方式。面条在烹煮过程中蛋白质凝结成连续网络结构与淀粉糊化之间会发生物理竞争<sup>[37]</sup>。切面方式制备的面条中二硫键质量摩尔浓度高(见图 2(b)),面筋网络结构优于挤出方式,这在一定程度上保护了包埋的淀粉颗粒与面筋基质分离,导致直链淀粉和支链淀粉的流动性受到限制,因此降低了煮制面条的短程有序性<sup>[14]</sup>。加水量的增加也可改善面条面筋网络结构(见图 2(b)),因此,对于不同的制面方式,随着加水量的增加,1 047  $\text{cm}^{-1}$  与 1 022  $\text{cm}^{-1}$  峰强度比值降低。



(a) 煮制面条红外光谱图



(b) 煮制面条特征峰强度比值

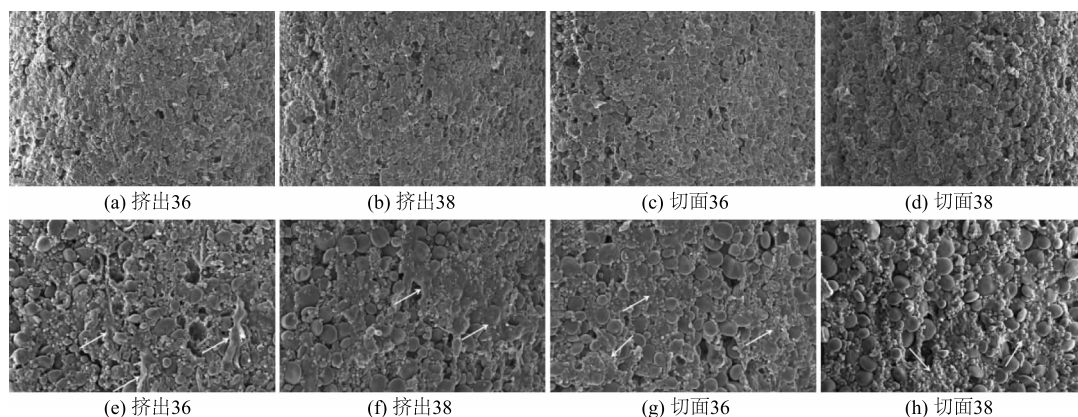
图 4 煮制面条淀粉短程有序性的变化

Fig. 4 Changes in the short-range ordered structure of cooked noodles starch

## 2.5 面条微观结构分析

使用扫描电子显微镜(SEM)分别放大300倍和600倍以观察生鲜面条的表面微观结构。由图5(a)、图5(c)可知,与切面方式相比,挤出方式制备的面条表面存在更多裸漏的絮状蛋白质结构,没有形成连续而致密的面筋网络,没有对淀粉颗粒产生有效的包裹作用,从而导致面条在烹煮过程中淀粉

颗粒更易糊化、溶出,面条易粘连。加水量由36%增加到38%时,挤出方式制备的面条表面结构得以改善,表面裸漏的絮状蛋白质减少,形成了连续的网络结构且包裹了更多的淀粉颗粒。然而,加水量达到38%时,切面方式制备的面条表面存在更多的裸漏淀粉颗粒。



(a)—(d)放大300倍,(e)—(h)放大600倍。

图5 面条表面微观结构

Fig. 5 Surface microstructure of noodles

## 3 结语

与挤出方式相比,切面方式制备的面条品质好,表面黏性低。机理主要在于,切面方式的压延工艺使面带形成了更为致密的面筋网络结构,降低了淀粉颗粒逸出形成高黏度淀粉凝胶的概率。在一定

范围内,随着加水量的增加,面条的面筋网络和表面结构得到改善,抑制了淀粉颗粒的逸出,降低了面条表面糊化淀粉的浓度,面条不易粘连。因此,挤出方式作为切面方式的补充,虽工艺简单,但面条品质有待于通过原料、设备、工艺等方面的优化得以提高。

## 参考文献:

- [1] LI M, MA M, ZHU K X, et al. Delineating the physico-chemical, structural, and water characteristic changes during the deterioration of fresh noodles; understanding the deterioration mechanisms of fresh noodles [J]. *Food Chemistry*, 2017, 216: 374-381.
- [2] WANG Y H, ZHANG Y R, XU F, et al. Effect of boiling and steaming on the surface tackiness of frozen cooked noodles [J]. *LWT - Food Science and Technology*, 2020, 130: 1-9.
- [3] 常鑫. 鲜湿面加工品质及表面黏性的研究[D]. 郑州: 河南工业大学, 2014.
- [4] AN D, LI Q, LI E, et al. Structural basis of wheat starch determines the adhesiveness of cooked noodles by affecting the fine structure of leached starch [J]. *Food Chemistry*, 2021, 341: 1-9.
- [5] 常战战, 刘云祯, 林嘉诺, 等. 单甘酯减少煮制面条粘连的作用机理[J]. *中国食品学报*, 2021, 21(2): 179-186.
- [6] SHAO L F, GUO X N, LI M, et al. Effect of different mixing and kneading process on the quality characteristics of frozen cooked



- noodle[J]. **LWT – Food Science and Technology**, 2019, 101:583-589.
- [7] LIU R, ZHANG Y, WU L, et al. Impact of vacuum mixing on protein composition and secondary structure of noodle dough[J]. **LWT – Food Science and Technology**, 2017, 85:197-203.
- [8] 陈洁, 汪磊, 吕莹果, 等. 醒面时间对烩面面团水分分布及麦谷蛋白大聚体的影响[J]. 中国食品学报, 2018, 18(6):167-173.
- [9] 邵丽芳. 制面工艺对冷冻熟面品质的影响及其机理研究[D]. 无锡: 江南大学, 2018.
- [10] SONG M K, LIU C, HONG J, et al. Effects of repeated sheeting on rheology and glutenin properties of noodle dough[J]. **Journal of Cereal Science**, 2019, 90:1-8.
- [11] 刘会晓, 陈洁, 王春, 等. 影响面条黏性工艺因素的研究[J]. 粮油加工, 2008(2):83-66.
- [12] ZHU F, LI J. Physicochemical and sensory properties of fresh noodles fortified with ground linseed (*Linum usitatissimum*) [J]. **LWT – Food Science and Technology**, 2019, 101:847-853.
- [13] LIU Q, GUO X N, ZHU K X. Effects of frozen storage on the quality characteristics of frozen cooked noodles[J]. **Food Chemistry**, 2019, 283:522-529.
- [14] JIA F Y, MA Z, WANG X L, et al. Effect of kansui addition on dough rheology and quality characteristics of chickpea-wheat composite flour-based noodles and the underlying mechanism[J]. **Food Chemistry**, 2019, 298(15):1-11.
- [15] 罗明江, 罗春霞, 吴赣香. Ellman's 试剂比色法测定食品中蛋白质的巯基和二硫键[J]. 郑州粮食学院学报, 1986(1):92-95.
- [16] HU Y M, WANG L J, LI Z G. Modification of protein structure and dough rheological properties of wheat flour through superheated steam treatment[J]. **Journal of Cereal Science**, 2017, 76:222-228.
- [17] CHEN B R, DANG L P, ZHANG X, et al. Physicochemical properties and micro-structural characteristics in starch from kudzu root as affected by cross-linking[J]. **Food Chemistry**, 2017, 219(3):93-101.
- [18] 张毅, 陈洁, 汪磊, 等. 加水量与和面时间对面片质构及蛋白特性的影响[J]. 农业工程学报, 2020, 36(14):299-306.
- [19] 雷恒森, 宋艳敏, 李洁彤, 等. 生鲜面条防粘连工艺的研究[J]. 食品科技, 2017, 42(12):164-170.
- [20] PARK C S, BAIK B K. Flour characteristics related to optimum water absorption of noodle dough for making white salted noodles[J]. **Cereal Chemistry**, 2002, 79(6):867-873.
- [21] 汪师帅, 毛响, 谭慧, 等. 水分对碱面条品质的影响[J]. 食品科技, 2019, 44(6):145-149.
- [22] VAN-DER-MIJNSBRUGGE A, AUGER F, FREDERIX S, et al. Image analysis of dough development: impact of mixing parameters and wheat cultivar on the gluten phase distribution[J]. **Journal of Food Engineering**, 2016, 171:102-110.
- [23] YAN H L, LU Q Y. Physicochemical properties of starch-wheat germ oil complex and its effects on water distribution and hardness of noodles[J]. **LWT – Food Science and Technology**, 2020, 135:1-7.
- [24] MAJZOBI M, OSTOVAN R, FARAHNAKY A. Effects of hydroxypropyl cellulose on the quality of wheat flour spaghetti[J]. **Journal of Texture Studies**, 2011, 42(1):20-30.
- [25] PHONGTHAI S, D'AMICO S, SCHOENLECHNER R, et al. Effects of protein enrichment on the properties of rice flour based gluten-free pasta[J]. **LWT – Food Science and Technology**, 2017, 80:378-385.
- [26] HONG J, AN D, LI L M, et al. Structural, rheological and gelatinization properties of wheat starch granules separated from different noodle-making process[J]. **Journal of Cereal Science**, 2020, 91:1-10.
- [27] 李翠翠, 陆敏玉, 李永丽, 等. 巯基、二硫键变化对面片色泽和质构影响研究[J]. 中国粮油学报, 2019, 34(8):13-19.
- [28] LIN D R, ZHOU W, YANG Z F, et al. Study on physicochemical properties, digestive properties and application of acetylated starch in noodles[J]. **International Journal of Biological Macromolecules**, 2019, 128:948-956.
- [29] 陈若瑄. 藜麦粉的理化特性及其挤压型面条的制备[D]. 无锡: 江南大学, 2019.
- [30] 胡瑞波, 田纪春. 鲜切面条色泽影响因素的研究[J]. 中国粮油学报, 2004, 19(6):18-22.
- [31] LI M, SUN Q J, HAN C W, et al. Comparative study of the quality characteristics of fresh noodles with regular salt and alkali and the underlying mechanisms[J]. **Food Chemistry**, 2017, 246(25):335-342.
- [32] LIS H, TANG D, LIU S T, et al. Improvement of noodle quality: the effect of ultrasonic on noodles resting[J]. **Journal of Cereal**

Science, 2020, 96:1-7.

[33] 赵丹丹. 拉面面团性质研究及制面工艺优化[D]. 郑州:河南工业大学, 2015.

[34] 谢新华, 毋修远, 沈玥, 等. 加水量对面筋蛋白水分分布及结构的影响[J]. 农业机械学报, 2019, 50(6): 365-370.

[35] LIU C, SONG M K, HONG J, et al. Effects of salt and kansui on rheological, chemical and structural properties of noodle dough during repeated sheeting process[J]. **Food Chemistry**, 2020, 342:1-9.

[36] POURFARZAD A, YOUSEFI A, AKO K. Steady/dynamic rheological characterization and FTIR study on wheat starch-sage seed gum blends[J]. **Food Hydrocolloids**, 2020, 111: 1-10.

[37] DING Q B, AINSWORTH P, PLUNKETT A, et al. The effect of extrusion conditions on the functional and physical properties of wheat-based expanded snacks[J]. **Journal of Food Engineering**, 2006, 73(2): 142-148.

## 科技信息

### 欧盟评估一种食品酶 $\alpha$ -淀粉酶的安全性

2021年4月30日, 欧盟食品安全局就一种  $\alpha$ -淀粉酶( $\alpha$ -amylase)的安全性评价发布意见。

据了解, 这种食品酶是由转基因地衣芽孢杆菌菌株 DP-Dzb52 生产的, 旨在用于淀粉加工中, 用于生产葡萄糖浆和蒸馏酒精, 以及用于酿造工艺过程中。

经过评估, 专家小组认为, 在预期的使用条件下, 在蒸馏酒精生产中可以排除过敏反应和诱发反应的风险, 当该酶用于淀粉加工和酿造时, 这种风险被认为较低。根据提供的数据, 小组得出结论, 该食品酶在预期的使用条件下不会引起安全隐患。

[信息来源] 食品伙伴网. 欧盟评估一种食品酶  $\alpha$ -淀粉酶的安全性 [EB/OL]. (2021-4-30). <http://news.foodmate.net/2021/05/592845.html>