

# 不同蛋白对马铃薯面条食用品质的影响

徐芬, 胡宏海, 张春江, 黄峰, 张雪, 刘倩楠, 戴小枫, 张泓

(中国农业科学院农产品加工研究所, 农业部农产品加工重点实验室, 北京 100193)

**摘要:** 本研究通过在马铃薯面条原料粉中添加一定比例小麦蛋白、花生蛋白、大豆蛋白制作面条, 探讨了三种蛋白对马铃薯面条食用品质的影响。结果表明: 三种蛋白均会降低马铃薯面条的亮度值, 且随蛋白添加量的增加, 马铃薯面条亮度值降低, 但大豆蛋白对马铃薯面条亮度值的影响小于小麦蛋白和花生蛋白。同时, 三种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, 且小麦蛋白对面条品质的改善作用最为显著, 大豆蛋白次之。扫描电镜结果表明, 添加小麦蛋白后马铃薯面条面筋网络形成更加致密, 空隙率更小。电子鼻检测结果表明, 小麦蛋白和花生蛋白对马铃薯面条的气味无显著影响, 而大豆蛋白会使马铃薯面条中的氮氧化合物等豆类腥味物质增加。由此可见, 三种蛋白中, 小麦蛋白对马铃薯面条的食用品质改善效果最佳。

**关键词:** 蛋白; 马铃薯面条; 食用品质; 微观结构

文章编号: 1673-9078(2015)12-269-276

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2015.12.040

## Effects of Different Types of Proteins on the Eating Quality of Potato Noodles

XU Fen, HU Hong-hai, ZHANG Chun-jiang, HUANG Feng, ZHANG Xue, LIU Qian-nan, DAI Xiao-feng, ZHANG Hong

(Institute of Agro-products Processing Science and Technology, CAAS/Comprehensive Key Laboratory of Agro-products Processing, Ministry of Agriculture, Beijing 100193, China)

**Abstract:** The effects of wheat, peanut, and soybean proteins on the eating quality of potato noodles were investigated by adding a certain proportion of these 3 proteins into the raw materials used to produce potato noodles. All 3 protein types decreased the brightness of the potato noodles. As the amount of the added proteins increased, the brightness of potato noodles decreased. Compared to wheat and peanut proteins, the soybean protein had a reduced impact on the potato noodle brightness. All 3 protein types significantly improved the eating quality of the potato noodles, including a reduction in cooking loss and enhancement of the noodle tensile resistance, hardness, cohesiveness and chewiness. Wheat protein had the most significant improvement on noodle quality, followed by soybean protein. The scanning electron microscopy (SEM) results showed that the addition of wheat protein made the gluten network in the potato noodle more compact with less porosity. According to the electronic nose analysis results, the soybean protein increased the content of the nitrogen- and oxygen-containing compounds and other beany smell substances in the potato noodles, while the addition of wheat and peanut proteins did not significantly affect the potato noodle odor. In conclusion, the addition of wheat protein was the most significant for the improvement of the eating quality of potato noodles.

**Key words:** protein; potato noodles; eating quality; microstructure

马铃薯是茄科茄属, 一年生草本植物, 别称洋芋、土豆等。马铃薯块茎是全球公认的全营养食品, 富含蛋白质、膳食纤维、维生素及矿物质等人体所需的营

收稿日期: 2015-03-26

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项(201503001-2); 中国农业科学院基本科研业务费预算增量项目(2014ZL009)

作者简介: 徐芬(1991-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 农产品加工及贮藏工程; 胡宏海为并列第一作者

通讯作者: 张泓(1958-), 男, 博士, 研究员, 研究方向: 传统食品加工与装备

养素<sup>[1~2]</sup>。由于马铃薯具有产量高, 营养价值丰富特点, 现已成为仅次于小麦、水稻、玉米的世界第四大主要粮食作物<sup>[3]</sup>。无论是发达国家还是发展中国家, 马铃薯作为世界上产量最大的非谷物类粮食作物, 在人们的饮食中扮演着举足轻重的角色<sup>[4]</sup>。目前, 我国的马铃薯产量居世界首位, 但由于受多种因素制约, 目前我国马铃薯的加工利用还远远落后于发达国家, 加工关键技术及装备也多依赖对国外相关技术及设备的引进与改造。我国马铃薯消费多以鲜食为主, 深加工产品所占比重低, 加工产品形式主要为淀粉、变性淀粉、

全粉、油炸薯片和薯条等,产品种类单一、营养价值低,缺乏适合我国居民饮食习惯的马铃薯主食产品,极大限制了马铃薯加工与消费的可持续性增长。

面条是我国传统主食,以其制作简单、食用方便、经济实惠而深受我国居民喜爱。目前,面条加工主要以小麦粉为原料,不能满足消费者对营养健康主食产品日益增长的需求。由于马铃薯富含人体所需的营养素,通过在小麦粉中添加一定比例的马铃薯全粉,加工成新型全营养马铃薯面条将在很大程度上满足人们对于营养型主食的要求,具有很大的发展空间。但由于马铃薯全粉不含面筋蛋白,马铃薯面条加工中存在成型难、易断条、易浑汤等问题。有研究表明,通过添加小麦蛋白、大豆蛋白、花生蛋白等植物蛋白,既可提高小麦面条的蛋白质含量,又能改善小麦面条的食用品质,其改善效果与蛋白种类及添加量密切相关<sup>[5]</sup>。但植物蛋白对马铃薯面条食用品质的影响研究尚未见报道。因此,本研究通过在马铃薯面条原料粉中添加一定比例的小麦蛋白、大豆蛋白、花生蛋白等3种植物蛋白粉,探讨了其对马铃薯面条的色泽、蒸煮特性、拉伸特性、质构特性、微观结构及风味成分等食用品质的影响,以期筛选出适合于马铃薯面条加工的蛋白粉,为改善马铃薯面条的食用品质提供理论依据。

## 1 材料与amp;方法

### 1.1 试验材料

小麦粉购自一加一天然面粉有限公司;大西洋马铃薯全粉购自内蒙古凌志马铃薯科技股份有限公司;小麦蛋白购自浚县天龙面业有限公司;花生蛋白购自山东高唐蓝山集团总公司;大豆蛋白购自山东万得福实业集团有限公司。利用全自动氨基酸分析仪测定小麦蛋白粉、花生蛋白粉、大豆蛋白粉的半胱氨酸含量分别为每克样品中含 10.58 mg、3.41 mg、4.67 mg。

### 1.2 主要仪器与设备

Q-500B 高速多功能粉碎机,上海冰都电器有限公司;KM005 全能厨师机,英国 Kenwood;一体化仿生擀面机,中国农业科学院农产品加工研究所;DGG-9203A 电热恒温鼓风干燥箱,上海森信实验仪器有限公司;LT-ACC300 人工气候箱,上海立德泰勃仪器有限公司;CR-400 便捷式色差仪,柯尼卡美能达(日本)公司;TA-XT2i 物性测试仪,英国 Stable Micro System 公司;PEN3.5 型电子鼻,德国 Airsense 公司;S-570 扫描电子显微镜,日本日立公司;L-8900

全自动氨基酸分析仪, HITACHI 日立集团。

### 1.3 试验方法

#### 1.3.1 马铃薯面条原料组成

对照组:原料为 80%小麦粉+20%马铃薯全粉;试验组:马铃薯全粉占比固定为 20%,添加不同种类及比例的小麦蛋白(2%、4%、6%)、花生蛋白(2%、4%、6%)和大豆蛋白(2%、4%、6%),替代相应比例的小麦粉。

#### 1.3.2 马铃薯面条的制作

分别称取上述马铃薯面条原料 250 g,采用厨师机将原料粉进行预混 2 分钟。混合均匀后,利用厨师机进行和面,和面时间为 6 min。所有样品面团含水量均为 35.8%,加水量为面团含水量与原料粉含水量之差。利用一体化仿生擀面机进行复合压片后醒发,再利用厨师机进行压延,将面片逐步压薄至最终厚度为 1 mm,经厨师机将面片切成宽度为 7 mm 的面条。取部分马铃薯鲜切面吊挂在人工气候箱中烘干,制得马铃薯干面。

### 1.4 指标测定

#### 1.4.1 面条色泽测定

利用色差计测定压延后的面片色泽,即为鲜切面色泽。将烘干后的干面截成同等长度短条,均匀放置在自制方盒内,面条铺 5 层,每铺一层调换 90 度,利用色差计测定干面色泽。色泽采用 CIE-L\*a\*b\* 色空间表示方法,得 L\*、a\* 和 b\* 三个参数。其中 L\* 代表亮度, L\* 越大表示亮度越高; a\* 代表红色—绿色之间的变化, +a\* 为红色方向, -a\* 为绿色方向; b\* 代表黄色—蓝色之间的变化, +b\* 为黄色方向, -b\* 为蓝色方向。

#### 1.4.2 面条蒸煮损失测定

采用中华人民共和国行业标准《挂面生产工艺测定方法》对鲜切面及干面的蒸煮损失进行测定。称取约 10 g 样品,精确至 0.1 g,放入盛有 500 mL 沸水(蒸馏水)的烧杯中,用电炉加热,保持水的微沸状态,煮制最佳烹调时间后,用筷子挑出面条,面汤放至常温后,转入 500 mL 容量瓶中定容混匀,吸 50 mL 面汤倒入恒重的 250 mL 烧杯中,放在可调式电炉上蒸发掉大部分水分后,再吸入面汤 50 mL,继续蒸发至近干,放入 105 ℃ 烘箱内烘至恒重,计算蒸煮损失。

$$P=5M/[G \times (1-W)] \times 100$$

式中: P 为蒸煮损失/%; M 为 100 mL 面汤中干物质/g; W 为干面水分/%; G 为样品重量/g。

#### 1.4.3 煮后面条质构特性测定

量取 500 mL 自来水倒入锅中,在电磁炉上煮沸,

称取 5 根面条样品, 放入沸水锅内, 电磁炉设置温度为 150 °C, 煮制最佳煮制时间时将面条立即捞出 (鲜切面煮制 3 min, 干面煮制 5 min), 以流动的自来水冲淋 30 s, 然后用物性测试仪进行测定, 每个样品进行 6 次重复实验取平均值。

#### 1.4.3.1 煮后面条拉伸特性测定

利用物性测定仪对煮后鲜切面及干面进行拉伸性能的测定, 最大拉力反映煮后面条的拉伸性能。探头 A/SPR, 测前速率为 2.0 mm/s, 返回速率 10 mm/s, 测试速率 1 mm/s。拉伸距离为 100 mm, 数据采集速率为 25 p/s。两探头起始间距 30 mm, 触发值为 5 g。记录面条被拉断时的最大拉伸力, 每个样品进行 6 次重复实验取平均值。

#### 1.4.3.2 煮后面条质地剖面分析 (TPA 测试)

利用物性测试仪对煮后鲜切面及干面进行 TPA 测试, 评价面条硬度、粘附性、弹性、粘结性、胶着性、咀嚼性、回复性。把 5 根煮后面条无空隙并排放置于测定平台上, 探头 ALKB-F, 测前速率和测后速率均为 2.0 mm/s, 测试速率为 0.8 mm/s。压缩程度为 70%, 两次压缩停留间隔为 10 s, 数据采集速率为 200 p/s。触发值为 10 g。每个样品进行 6 次重复实验取平均值。

#### 1.4.4 面条微观结构的观察

将干面切成 1~2 mm 的方块后, 用双面胶粘于载样台上, 直接进行喷涂处理, 之后对其进行观察、拍照。对于煮熟的面条须先用 2.5% 的戊二醛溶液浸泡过夜进行固定处理, 随后用 0.1 mol/L 的磷酸缓冲液 (pH 7.3) 清洗数次, 每次 5 min。然后将样品用蒸馏水冲洗, 之后依次以 25%、50%、70%、80% 和 95% 的乙醇溶液进行梯度脱水处理 2 次, 每次 1 h, 再用 100% 的乙醇脱水两次, 每次 20 min。最后经超临界 CO<sub>2</sub> 干燥仪干燥、离子溅射喷金仪喷涂处理后利用扫描电子显微镜进行观察、拍照。每个样品重复拍照三次, 选取较为清晰的图片进行比较。

#### 1.4.5 电子鼻检测

将五组面条样品煮熟后称取 1.5 g 湿面条, 立即装入 15 mL 电子鼻自动进样瓶, 盖好瓶塞。采用顶空抽样的方法用电子鼻检测。检测时间为 60 s, 传感器清洗时间为 100 s, 每个样品重复 3 次。实验所用 PEN3 型便携式电子鼻包含 10 个金属氧化物传感器阵列, 可根据气味标识并利用化学计量统计学软件对不同气味进行快速鉴别<sup>[6]</sup>。

#### 1.4.6 数据分析

每个试验指标至少重复 3 次, 实验数据用 SPSS17.0 统计软件进行 LSD 显著性分析, 显著性

$p < 0.05$ , 统计值使用“平均值 ± 标准差”表示。所得结果进一步用 Excel 及 Origin8.6 做图。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同蛋白对马铃薯面条色泽的影响

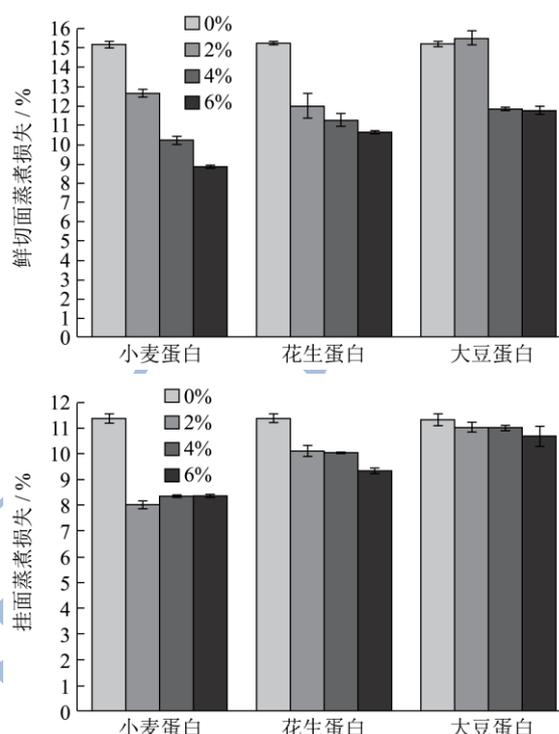


图 1 不同蛋白对马铃薯面条蒸煮损失的影响

Fig.1 Effects of different types of proteins on the cooking loss of potato noodles

色泽是面条品质评价的重要指标, 直接影响人们对面条品质优劣的判断。利用色差计光电测定的方法, 可迅速、方便、准确地测定不同类型面条色泽, 有助于客观地评价面条品质。由表 1 可以看出, 与对照组相比, 蛋白粉添加组的马铃薯鲜切面  $L^*$  值均降低,  $a^*$  值及  $b^*$  值均增大; 且随蛋白粉添加量的增加,  $L^*$  值逐渐降低,  $a^*$  值及  $b^*$  值逐渐增大, 表明蛋白粉的添加会使马铃薯鲜切面的亮度减小, 红度、黄度增大, 面条颜色加深。已有研究表明, 蛋白质含量与面条白度呈负相关<sup>[7-8]</sup>。OH 等<sup>[9]</sup>认为蛋白质含量越高, 参与黑色素反应的含氮类化合物越多, 且蛋白质含量增加会导致淀粉相对含量降低, 面团内部网络结构紧密, 影响对光的反射率, 使面条色泽变暗。表 1 结果还表明, 小麦蛋白添加组马铃薯鲜切面的红度值显著小于花生蛋白添加组和大豆蛋白添加组; 大豆蛋白添加组马铃薯鲜切面颜色较白, 小麦蛋白添加组颜色偏黄。干面的色泽变化规律与鲜切面一致, 花生蛋白添加组和大豆蛋白添加组红度值较高, 小麦蛋白添加组黄度值较

高。

### 2.2 不同蛋白对马铃薯面条蒸煮损失的影响

蒸煮损失率是评价面条蒸煮特性的一个重要指标, 蒸煮损失越大, 面汤越浑浊, 面条品质越差。有研究表明, 面条的蒸煮损失与湿面筋含量呈显著负相关<sup>[10]</sup>。制面过程中小麦面筋蛋白发生相互作用, 形成面筋网络结构, 可束缚住面筋网络空隙中的淀粉颗粒, 从而减少淀粉溶出, 蒸煮损失降低, 提高面条品质。由图 1 看出, 与对照组相比, 添加蛋白粉可显著降低

马铃薯面条的蒸煮损失, 且随蛋白添加量的增加, 蒸煮损失逐渐降低。同时, 不同品种蛋白对马铃薯面条蒸煮损失的影响不同, 小麦蛋白添加组马铃薯鲜切面的蒸煮损失显著低于花生蛋白添加组和大豆蛋白添加组, 而花生蛋白添加组与大豆蛋白添加组之间对蒸煮损失差异不显著。其原因主要是由于 3 种蛋白的品质不同, 而蛋白品质在很大程度上决定着面条的蒸煮特性。马铃薯干面蒸煮损失变化规律与鲜切面一致, 小麦蛋白添加组的蒸煮损失显著低于另外两种蛋白添加组。

表 1 不同蛋白对马铃薯面条色泽的影响

Table 1 Effects of different types of proteins on the surface color of potato noodles

色差	添加量/%	小麦蛋白添加组	花生蛋白添加组	大豆蛋白添加组
L* 值	0	83.89±0.38 <sup>A</sup>	83.89±0.38 <sup>A</sup>	83.89±0.38 <sup>A</sup>
	2	82.11±0.36 <sup>Bb</sup>	82.51±0.13 <sup>Ba</sup>	83.46±0.20 <sup>Aa</sup>
	4	81.48±0.16 <sup>Ca</sup>	81.09±0.33 <sup>Cb</sup>	82.82±0.22 <sup>Aa</sup>
	6	80.07±0.30 <sup>Da</sup>	79.63±0.34 <sup>Db</sup>	81.99±0.31 <sup>Aa</sup>
鲜切面 a* 值	0	0.25±0.04 <sup>B</sup>	0.25±0.04 <sup>D</sup>	0.25±0.04 <sup>B</sup>
	2	0.29±0.08 <sup>Bb</sup>	0.65±0.07 <sup>Ca</sup>	0.67±0.03 <sup>Aa</sup>
	4	0.45±0.04 <sup>Ab</sup>	1.24±0.05 <sup>Ba</sup>	0.60±0.05 <sup>Aa</sup>
	6	0.49±0.05 <sup>Ab</sup>	1.52±0.21 <sup>Aa</sup>	0.55±0.06 <sup>Aa</sup>
b* 值	0	18.04±0.63 <sup>C</sup>	18.04±0.63 <sup>C</sup>	18.04±0.63 <sup>A</sup>
	2	18.07±0.29 <sup>Ca</sup>	17.87±0.20 <sup>Ca</sup>	14.99±0.17 <sup>Bb</sup>
	4	18.37±0.11 <sup>Bb</sup>	18.73±0.08 <sup>Ba</sup>	16.21±0.09 <sup>Bb</sup>
	6	19.08±0.20 <sup>Aa</sup>	19.09±0.41 <sup>Aa</sup>	17.64±0.15 <sup>Bb</sup>
L* 值	0	77.74±0.41 <sup>A</sup>	77.74±0.41 <sup>A</sup>	77.74±0.41 <sup>A</sup>
	2	76.05±1.12 <sup>Bb</sup>	78.46±0.53 <sup>Aa</sup>	78.65±1.05 <sup>Aa</sup>
	4	76.94±1.83 <sup>Ba</sup>	69.22±1.75 <sup>Cb</sup>	76.89±0.83 <sup>Bb</sup>
	6	74.83±0.78 <sup>Cb</sup>	73.61±2.04 <sup>Ba</sup>	76.71±0.73 <sup>Ba</sup>
干面 a* 值	0	0.76±0.09 <sup>B</sup>	0.76±0.09 <sup>B</sup>	0.76±0.09 <sup>B</sup>
	2	0.56±0.12 <sup>Bb</sup>	0.80±0.11 <sup>Ba</sup>	1.29±0.13 <sup>Aa</sup>
	4	0.77±0.07 <sup>Bb</sup>	1.65±0.11 <sup>Aa</sup>	0.97±0.13 <sup>Aa</sup>
	6	1.03±0.08 <sup>Bb</sup>	1.77±0.26 <sup>Aa</sup>	1.28±0.15 <sup>Aa</sup>
b* 值	0	18.81±0.31 <sup>A</sup>	18.81±0.31 <sup>A</sup>	18.81±0.31 <sup>B</sup>
	2	18.17±0.44 <sup>Aa</sup>	18.65±0.52 <sup>Ab</sup>	16.89±0.21 <sup>Bb</sup>
	4	19.11±0.40 <sup>Aa</sup>	18.17±0.47 <sup>Bb</sup>	18.60±0.53 <sup>Bb</sup>
	6	20.18±0.29 <sup>Aa</sup>	18.43±0.43 <sup>Ab</sup>	20.41±0.29 <sup>Aa</sup>

注: a,b,c,d...代表同一添加量不同蛋白之间的显著性差异(p<0.05); A,B,C,D...代表同一蛋白不同添加量之间的显著性差异(p<0.05), 下同。

### 2.3 不同蛋白对马铃薯面条拉伸阻力的影响

面条的拉伸阻力是指受外力伸展时所克服的阻力, 通常以面条被拉断时的最大拉伸阻力表示。面条的拉伸阻力越大, 表明面条的筋力越强, 抗拉伸性能越好, 面条弹性越好。一般来说, 面筋含量越高, 制

作的面条抗拉伸性能越好。如图 2 所示, 与对照组相比, 分别添加 3 种蛋白粉后, 马铃薯面条的拉伸阻力均显著增大, 且随蛋白添加量的增加, 拉伸阻力呈增大趋势。由此可见, 3 种蛋白均可改善马铃薯面条的拉伸特性, 增加其弹性。同时, 由图 2 可知, 不同种类蛋白对马铃薯面条拉伸特性的改善效果不同。添加

量相同时,小麦蛋白添加组马铃薯面条的拉伸阻力显著大于花生蛋白添加组和大豆蛋白添加组。由此可见,小麦蛋白对马铃薯面条拉伸特性的改善效果最佳。

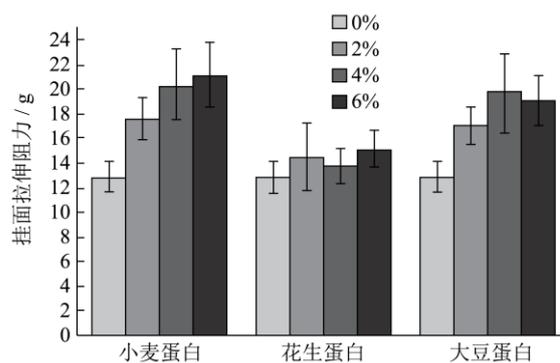
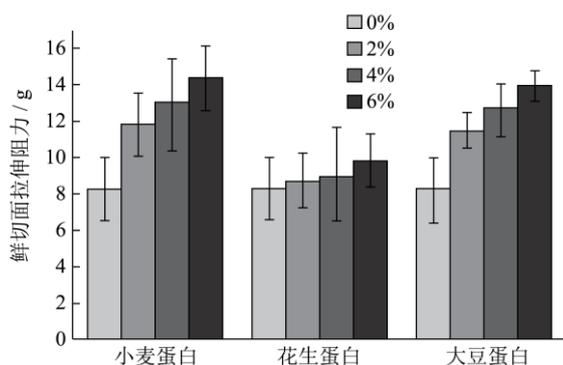


图2 不同蛋白对马铃薯面条拉伸阻力的影响

Fig.2 Effects of different types of proteins on the tensile force of potato noodles

表2 不同蛋白对马铃薯面条质构特性的影响

Table 2 Effects of different types of proteins on the texture characteristics of potato noodles

添加量/%		硬度	弹性	粘结性	粘合性	咀嚼性	回复性
鲜切面 小麦蛋白添加组	0	220.24±4.90 <sup>B</sup>	0.98±0.01 <sup>A</sup>	0.57±0.02 <sup>A</sup>	126.20±7.39 <sup>B</sup>	123.81±6.28 <sup>B</sup>	0.43±0.03 <sup>A</sup>
	2	296.43±1.46 <sup>Aa</sup>	0.93±0.02 <sup>Ba</sup>	0.46±0.05 <sup>Ca</sup>	135.26±8.06 <sup>Ba</sup>	126.06±7.64 <sup>Ba</sup>	0.23±0.02 <sup>Ca</sup>
	4	299.13±4.10 <sup>Aab</sup>	0.91±0.02 <sup>Ba</sup>	0.47±0.01 <sup>Ca</sup>	140.39±9.22 <sup>Ba</sup>	128.12±10.44 <sup>Ba</sup>	0.25±0.01 <sup>Ca</sup>
	6	309.23±13.35 <sup>Aa</sup>	0.92±0.03 <sup>Ba</sup>	0.53±0.02 <sup>Ba</sup>	164.49±1.43 <sup>Aa</sup>	151.3±14.69 <sup>Aa</sup>	0.32±0.01 <sup>Ba</sup>
鲜切面 花生蛋白添加组	0	220.24±4.90 <sup>D</sup>	0.98±0.01 <sup>A</sup>	0.57±0.02 <sup>A</sup>	126.20±7.39 <sup>A</sup>	123.81±6.28 <sup>A</sup>	0.43±0.03 <sup>A</sup>
	2	286.75±9.20 <sup>Aa</sup>	0.91±0.04 <sup>Ba</sup>	0.44±0.03 <sup>Ca</sup>	127.61±1.84 <sup>Aa</sup>	115.79±6.71 <sup>Aa</sup>	0.26±0.02 <sup>Ba</sup>
	4	262.28±8.75 <sup>Bb</sup>	0.89±0.01 <sup>Ba</sup>	0.42±0.03 <sup>Db</sup>	109.24±9.94 <sup>Bb</sup>	96.97±9.07 <sup>Bb</sup>	0.21±0.02 <sup>Cb</sup>
	6	244.48±8.51 <sup>Cb</sup>	0.88±0.04 <sup>Ba</sup>	0.48±0.01 <sup>Bb</sup>	117.78±6.91 <sup>ABb</sup>	104.01±10.28 <sup>Bb</sup>	0.27±0.01 <sup>Bb</sup>
鲜切面 大豆蛋白添加组	0	220.24±4.90 <sup>B</sup>	0.98±0.01 <sup>A</sup>	0.57±0.02 <sup>A</sup>	126.20±7.39 <sup>C</sup>	123.81±6.28 <sup>B</sup>	0.43±0.03 <sup>A</sup>
	2	310.86±24.21 <sup>Aa</sup>	0.89±0.03 <sup>Ba</sup>	0.46±0.03 <sup>Ca</sup>	141.07±4.89 <sup>Ba</sup>	125.44±7.99 <sup>Ba</sup>	0.26±0.02 <sup>Ca</sup>
	4	340.39±50.45 <sup>Aa</sup>	0.86±0.11 <sup>Ba</sup>	0.43±0.01 <sup>Cb</sup>	145.79±20.57 <sup>Ba</sup>	124.31±18.20 <sup>Ba</sup>	0.20±0.02 <sup>Db</sup>
	6	326.34±13.75 <sup>Aa</sup>	0.93±0.07 <sup>ABa</sup>	0.52±0.04 <sup>Bab</sup>	168.84±14.63 <sup>Aa</sup>	157.67±22.61 <sup>Aa</sup>	0.33±0.03 <sup>Ba</sup>
干面 小麦蛋白添加组	0	279.8±35.9 <sup>C</sup>	0.90±0.05 <sup>A</sup>	0.46±0.03 <sup>B</sup>	201.07±36.55 <sup>BC</sup>	181.09±38.20 <sup>AB</sup>	0.23±0.03 <sup>B</sup>
	2	344.28±6.32 <sup>Ba</sup>	0.91±0.05 <sup>Aa</sup>	0.52±0.01 <sup>Aa</sup>	179.05±5.22 <sup>Ca</sup>	163.23±8.97 <sup>Ba</sup>	0.30±0.02 <sup>Aa</sup>
	4	449.43±16.64 <sup>Aa</sup>	0.89±0.03 <sup>ABa</sup>	0.53±0.01 <sup>Aa</sup>	240.19±1.12 <sup>Aa</sup>	212.92±11.71 <sup>Aa</sup>	0.27±0.02 <sup>Aa</sup>
	6	437.83±13.28 <sup>Aa</sup>	0.83±0.02 <sup>Bb</sup>	0.54±0.01 <sup>Aa</sup>	236.73±8.56 <sup>ABa</sup>	196.87±10.38 <sup>ABa</sup>	0.29±0.01 <sup>Aa</sup>
干面 花生蛋白添加组	0	279.80±35.90 <sup>B</sup>	0.90±0.05 <sup>A</sup>	0.46±0.03 <sup>A</sup>	201.07±36.55 <sup>A</sup>	181.09±38.2 <sup>A</sup>	0.23±0.03 <sup>B</sup>
	2	285.33±21.42 <sup>Bb</sup>	0.92±0.05 <sup>Aa</sup>	0.35±0.07 <sup>Bb</sup>	102.39±27.16 <sup>Bb</sup>	93.90±25.44 <sup>Bb</sup>	0.27±0.03 <sup>Aa</sup>
	4	365.40±16.13 <sup>Ab</sup>	0.91±0.02 <sup>Aa</sup>	0.51±0.01 <sup>Aa</sup>	185.45±12.68 <sup>Ab</sup>	168.17±15.45 <sup>Ab</sup>	0.27±0.02 <sup>Aa</sup>
	6	352.15±17.19 <sup>Ab</sup>	0.88±0.01 <sup>Aa</sup>	0.49±0.01 <sup>Aa</sup>	173.01±10.94 <sup>Ab</sup>	151.87±10.4 <sup>Ab</sup>	0.25±0.02 <sup>ABb</sup>
干面 大豆蛋白添加组	0	279.80±35.90 <sup>C</sup>	0.90±0.05 <sup>A</sup>	0.46±0.03 <sup>AB</sup>	201.07±36.55 <sup>A</sup>	181.09±38.2 <sup>A</sup>	0.23±0.03 <sup>B</sup>
	2	354.30±4.26 <sup>Ba</sup>	0.91±0.03 <sup>Aa</sup>	0.50±0.04 <sup>Aa</sup>	178.43±15.23 <sup>Aa</sup>	162.13±18.47 <sup>ABa</sup>	0.28±0.05 <sup>Aa</sup>
	4	489.67±45.66 <sup>Aa</sup>	0.86±0.05 <sup>ABa</sup>	0.40±0.04 <sup>BCb</sup>	197.20±36.94 <sup>Ab</sup>	168.71±28.78 <sup>ABb</sup>	0.25±0.03 <sup>ABa</sup>
	6	390.57±36.29 <sup>Bb</sup>	0.83±0.03 <sup>Bb</sup>	0.39±0.09 <sup>Bb</sup>	152.55±45.40 <sup>Ab</sup>	125.96±37.10 <sup>Bb</sup>	0.26±0.03 <sup>ABab</sup>

## 2.4 不同蛋白对马铃薯面条 TPA 质构特性的影响

TPA 质构分析是评价面条品质的有效方法。有研究表明, TPA 质构测试各项参数与感官评价之间存在显著的相关性。陆启玉等的研究表明面条感官评价中的筋道感分别和硬度、粘合性、咀嚼性、回复性、弹

性参数呈显著正相关,滑口感分别和硬度、咀嚼性、弹性和粘附性参数呈显著负相关<sup>[11]</sup>。陈东升等认为面条 TPA 测试指标能较好地反映面条感官评价的适口性、韧性、粘性和总评分<sup>[12]</sup>。孙彩玲等认为 TPA 测试中的硬度、胶着性、咀嚼性等参数均和面条感官评价的筋道感、硬度、弹性呈显著正相关<sup>[13]</sup>。因此,TPA 测试在一定程度上可替代感官评价,更加客观的对面条进行品质评价。本研究采用 TPA 质构仪分析了不同蛋白对马铃薯面条的硬度、弹性、粘结性、胶着性、咀嚼性及回复性的影响。由表 2 可以看出,3 种蛋白均可显著提高马铃薯鲜切面的硬度、粘附性、咀嚼性,降低弹性及粘结性。且随着蛋白添加量的增加,马铃薯鲜切面的硬度、粘附性、咀嚼性随之增加。其原因主要是由于蛋白的添加可促进面条中面筋网络结构的形成,使面条硬度增加,筋道感增强。同时,不同蛋白对马铃薯面条鲜切面 TPA 质构特性的影响不同,在同一添加量的条件下,花生蛋白添加组马铃薯鲜切面的硬度、粘附性、粘附性、粘附性、咀嚼性均小于小麦蛋白添加组和大豆蛋白添加组。马铃薯干面 TPA 质构特性指标的变化规律与鲜切面基本一致。以上结果表明,与花生蛋白相比,小麦蛋白和大豆蛋白对马铃薯面条的 TPA 质构特性的改善效果较佳。

## 2.5 不同蛋白对马铃薯面条微观结构的影响

采用扫描电子显微镜 (SEM) 探讨了不同蛋白对马铃薯面条微观结构的影响,其结果如图 3 所示。从图中可以看出,马铃薯面条中蛋白通过分子间的相互作用形成三维网状结构的骨架,而淀粉颗粒等穿插于三维网络结构的空隙中,起到充填面筋网络的作用。不同蛋白添加组的面条微观结构存在明显差异,小麦蛋白添加组马铃薯面条微观结构较为致密,淀粉颗粒与面筋网络结合较为紧密。但花生蛋白组与大豆蛋白组的网络结构较为疏松,淀粉颗粒与面筋网络结合较为松散,花生蛋白组还可明显看出面筋网络中存在的较大空隙,面筋网络更加疏松,对淀粉的包裹效果较差,该结果与上述 TPA 质构分析结果相一致。这是由于小麦蛋白中半胱氨酸含量高于花生蛋白与大豆蛋白,半胱氨酸中的巯基发生反应生成二硫键促进了网络结构形成。与鲜切面相比,干面的微观结构可明显看出面条表面发生了龟裂现象,且龟裂多发生在蛋白与淀粉的接触面。师俊玲等认为干面表面的细小龟裂是由于热风干燥过程中的水分散失所致<sup>[14]</sup>。

## 2.6 不同蛋白对马铃薯面条挥发性成分的影响

响

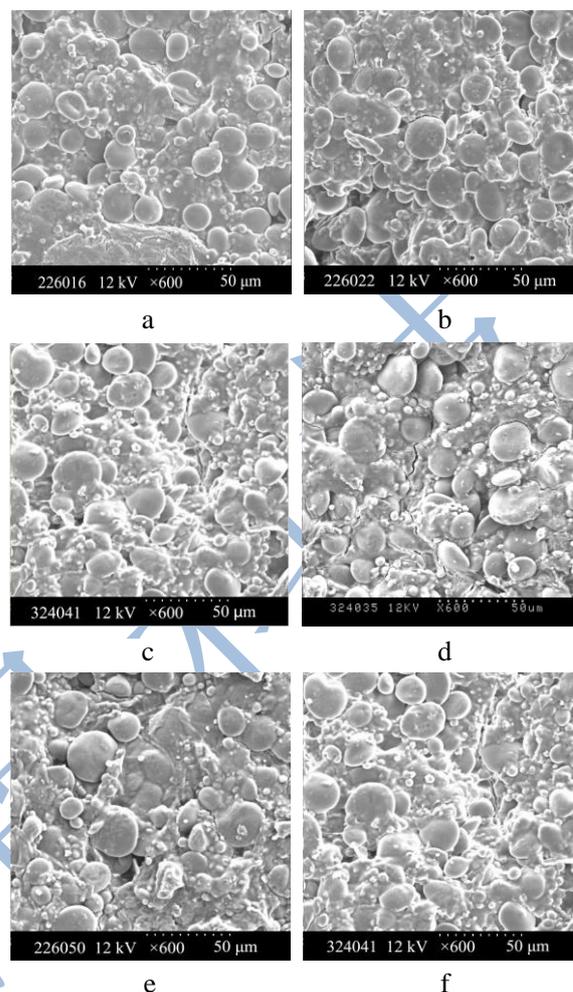


图 3 不同蛋白对马铃薯面条微观结构的影响

Fig.3 Effects of different types of proteins on the microstructures of potato noodles

注: a: 小麦蛋白添加鲜切面, b: 花生蛋白添加鲜切面, c: 大豆蛋白添加鲜切面, d: 小麦蛋白添加干面, e: 花生蛋白添加干面, f: 大豆蛋白添加干面; 放大倍数: 600 倍。

### 2.6.1 电子鼻传感器信号分析结果

风味是食品品质的重要特征,能刺激人的食欲,是人们选择和接受食品的重要因素,对人的摄食和消化有重要影响。在许多食品中,风味的差别很大程度决定了产品的等级和价值。电子鼻作为一种人工嗅觉传感器技术,以其客观性、可靠性和重现性等优点在食品分析中得到广泛应用。本文利用电子鼻对不同种类的马铃薯面条挥发性风味成分进行了检测,每个传感器对不同物质类型的响应值不同,基于各个传感器的响应值,可建立不同类型物质的指纹图,又称雷达图。电子鼻 10 个传感器分别为: W1C (S1: 对芳香性化合物敏感)、W5S (S2: 对氮氧化合物敏感)、

W3C (S3: 对氨类和芳香性化合物敏感)、W6S (S4: 对氢气敏感)、W5C (S5: 对烯烃和芳香性化合物敏感)、W1S (S6: 对烃类物质敏感)、W1W (S7: 对硫化氢敏感)、W2S (S8: 对醇类物质敏感)、W2W (S9: 对芳香化合物和有机硫化物敏感)、W3S (S10: 对碳氢化合物敏感)。不同种类马铃薯面条的电子鼻分析雷达图如图4所示, 与其他马铃薯面条相比, 大豆蛋白添加组在 W5S, W1W 传感器上响应值较高, 表明添加大豆蛋白后, 马铃薯面条中含有更多的氮氧化物、硫化氢等挥发性成分, 该类物质与大豆腥味有关。由此可见, 大豆蛋白会使马铃薯面条呈现一定程度的豆腥味。而小麦蛋白、花生蛋白对马铃薯面条风味物质的影响不显著。

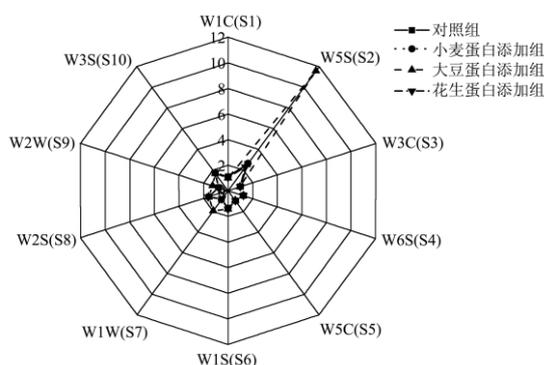


图4 添加不同种类蛋白粉马铃薯面条挥发性风味成分雷达图

Fig.4 Radar chart of volatile flavor compounds in the potato noodles with different types of proteins

### 2.6.2 电子鼻检测结果的主成分分析 (PCA)

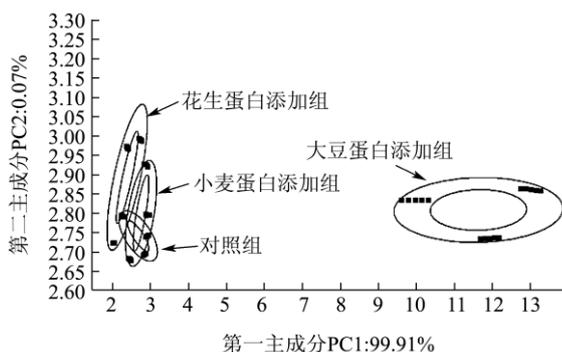


图5 不同面条电子鼻检测结果的第一主成分和第二主成分得分图

Fig.5 PCA score scatter plots of PC1 and PC2 based on electronic nose results for different kinds of potato noodles

利用分析软件对电子鼻检测信号数据进行主成分分析, 进一步研究了不同蛋白对马铃薯面条挥发性风味成分的影响。主成分分析结果表明, 检测结果的前两个主成分 (PC1、PC2) 累计贡献率达到 99.91% (>85%), 说明 PC1, PC2 包含的大量信息足以反映样品的整体信息。从主成分得分图中可以看出 (图5),

大豆蛋白添加组马铃薯面条与其他品种马铃薯面条相距较远, 表明大豆蛋白添加组马铃薯面条与另外三组样品的风味差异较大。而小麦蛋白添加组和花生蛋白添加组马铃薯面条与对照组相距较近, 重叠部分较多。由此可见, 小麦蛋白和花生蛋白对马铃薯面条的挥发性风味成分影响不显著。

### 3 结论

3.1 小麦蛋白、花生蛋白和大豆蛋白等三种蛋白均会降低马铃薯面条的亮度值, 且随着蛋白添加量的增加, 马铃薯面条亮度值逐渐降低, 但大豆蛋白对马铃薯面条亮度值的影响小于小麦蛋白和花生蛋白。蛋白粉的添加可显著降低马铃薯面条的蒸煮损失, 添加量达到4%即可达到良好效果。与大豆蛋白与花生蛋白相比, 小麦蛋白可更显著地降低马铃薯面条蒸煮损失。

3.2 蛋白粉的添加可显著增加马铃薯面条的拉伸阻力, 面条更加劲道, 且随添加量的增加, 拉伸阻力逐渐增大。三种蛋白中, 小麦蛋白对面条拉伸阻力的增强效果最佳, 其次为大豆蛋白。TPA 质构分析结果表明, 蛋白粉的添加可显著提高马铃薯面条的硬度、粘性、咀嚼性, 降低其弹性及粘结性。与花生蛋白相比, 小麦蛋白和大豆蛋白可更好地改善马铃薯面条的质构特性。

3.3 扫描电子显微镜结果表明, 小麦蛋白添加组马铃薯面条微观结构较为致密, 淀粉颗粒与面筋网络结合较为紧密, 孔隙率较小。电子鼻检测结果显示, 大豆蛋白添加组马铃薯面条与其他品种马铃薯面条相距较远, 表明大豆蛋白添加组马铃薯面条与另外三组样品的风味差异较大。而小麦蛋白添加组和花生蛋白添加组马铃薯面条与对照组风味差异不显著。

### 参考文献

- [1] Kun XU. Development of flavor preserved potatoes [J]. Agriculture Products Development, 2000, 3: 21-22
- [2] Yue Wang, Guojun Shi, Bo Yuan, et al. Chemical elemental compositions and nutrition quality of yacon, sweet potato and potato[J]. Journal of Modern Agriculture, 2013, 2(2): 21-27
- [3] K B Arun, Janu Chandran, R Dhanya, et al. A Comparative evaluation of antioxidant and antidiabetic potential of peel from young and matured potato [J]. Food Bioscience, 2015(9): 36-46
- [4] Jaspreet Singh, Lovedeep Kaur, Paul J Moughan. Importance of chemistry, technology and nutrition in potato processing[J]. Food Chemistry, 2012, 133(4): 1901
- [5] 冯蕾,李梦琴,李超然.SPI 挂面特性与其蛋白质结构特征的

- 相关性[J].现代食品科技,2014,30(1):55-62
- FENG Lei, LI Meng-qin, LI Chao-ran. The correlation of protein structural features and properties of dry noodles added with SPI [J]. Modern Food Science and Technology, 2014, 30(1): 55-62
- [6] Rodriguez S D, Mar á E M, Alejandro C O, et al. Time dependence of the aroma pattern emitted by an encapsulated essence studied by means of electronic noses and chemometric analysis [J]. Food Research International, 2010, 43(3): 797-804
- [7] MISKELLY, DM. Flour components affecting paste and noodle colour[J]. Journal of the Science Of Food and Agriculture, 1984, 35(4): 463-471
- [8] Hak-Gil Chang, Min-Jae Lee. Effect of processing, formula and measurement variables on alkaline noodle color-toward an optimized laboratory system [J]. Wheat Chemistry, 2000, 77(1): 77-85
- [9] OH NH, SEIB PA, WARD AB, et al. NOODLES .4. Influence of flavour protein, extraction rate, particle-size, and starch damage on the quality characteristic of dry noodles[J]. Wheat Chemistry, 1985, 62(6): 442-446
- [10] 胡新中,魏益民,MI P Kovacs,等.谷蛋白溶胀指数与面团特性和面条品质的关系[J].中国农业科学,2004,37(1):119-124
- HU Xin-zhong, WEI Yi-min, MI P Kovacs, et al. Swelling index of gluten in related to dough characters and noodle quality[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2004, 37(1): 119-124
- [11] 陆启玉.小麦面粉中主要组分对面条特性影响的研究[D].广州:华南理工大学,2010
- LU Qi-yu. Effects of Main Components in Wheat Flour on Noodle Characters [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2010
- [12] 陈东升,C.Kiribuchi-Otobe,徐兆华,等.Waxy 蛋白缺失对小麦淀粉特性和中国鲜面条品质的影响[J].中国农业科学,2005,38(5): 865-873
- CHEN Dong-sheng, C Kiribuchi-Otobe, XU Zhao-hua, et al. Effect of Wx-A1, Wx-B1 and Wx-D1 protein on starch properties and chinese fresh noodle quality [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2005, 38(5): 865-873
- [13] 孙彩玲,田纪春,邓志英,等.糯小麦与普通小麦面粉混配对面团及面条质构特性的影响[J].山东农业大学学报, 2008, 39(1): 1-6
- SUN Cai-ling, TIAN Ji-chun, DENG Zhi-ying, et al. Effect of waxy and common flour blending on dough and noodle texture properties[J]. Journal of Shandong Agricultural University, 2008, 39(1): 1-6
- [14] 师俊玲,魏益民,张国权,等.蛋白质和淀粉对面条类制品微观结构的影响[J].麦类作物学报,2000,20(4): 72-74
- SHI Jun-ling, WEI Yi-min, ZHANG Guo-quan, et al. Effect of wheat protein and starch on microstructure of noodle products [J]. Journal of Triticeae Crops, 2000, 20(4): 72-74