

# 利用乙酸协同氯化钙提升马铃薯片热加工质构特性

邹妍<sup>1</sup>, 李佳容<sup>1</sup>, 李飞<sup>2</sup>, 於晓燕<sup>3</sup>, 喻仕瑞<sup>4</sup>, 雷尊国<sup>5</sup>, 董楠<sup>5\*</sup>

(1. 贵州轻工职业技术学院轻工化工系, 贵州贵阳 550025) (2. 贵州省农业科学院园艺研究所, 贵州贵阳 550006)

(3. 贵州大学酿酒与食品工程学院, 贵州贵阳 550025) (4. 茅台学院食品科学与工程系, 贵州仁怀 564507)

(5. 贵州省农业科学院食品加工研究所, 贵州贵阳 550006)

**摘要:** 为了解决马铃薯片充分热加工后爽脆的质地丧失的问题, 该试验研究了乙酸和钙及其协同预处理对马铃薯片热加工后质地的影响, 分别用不同乙酸浓度、氯化钙浓度、浸泡时间作为实验参数, 研究了不同参数下马铃薯片热加工后硬度值的变化, 并在此基础上, 设置马铃薯片热加工 10 min 后的硬度值为响应值, 利用响应面分析方法得到了最优的酸钙协同提升马铃薯片硬度的工艺: 乙酸浓度为 5.26 mL/L、氯化钙浓度为 5.28 mg/L、浸泡时间为 11.1 h。同时, 通过对不同样品的显微结构观察及 X-射线微区分析发现, 经过热处理马铃薯片的细胞发生严重的胞间分离, 而经乙酸和氯化钙协同处理后的马铃薯片在蒸制 10 min 后, 马铃薯细胞间仍然连接紧密, 且该马铃薯样品中钙的渗透量显著多于仅由氯化钙浸泡的马铃薯。这进一步揭示了经乙酸协同氯化钙浸泡后可以提高马铃薯片热加工后的硬度的原因, 为后期风味即食马铃薯片的加工提供依据。

**关键词:** 马铃薯片; 乙酸; 氯化钙; 硬度; 电镜扫描; X-射线扫描

文章编号: 1673-9078(2022)04-140-146

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2022.4.0580

## Improving Texture Properties of Sliced Potatoes during Thermal

## Processing by Acetic Acid in Synergy with Calcium Chloride

ZOU Yan<sup>1</sup>, LI Jiarong<sup>1</sup>, LI Fei<sup>2</sup>, YU Xiaoyan<sup>3</sup>, YU Shirui<sup>4</sup>, LEI Zunguo<sup>5</sup>, DONG Nan<sup>5\*</sup>

(1. Department of Light Industry and Chemical Engineering, Guizhou Light Industry Technical College, Guiyang 550025,

China) (2. Institute of Horticulture, Guizhou Academy of Agricultural Sciences, Guiyang 550006, China)

(3. School of Liquor and Food Engineering, Guizhou University, Guiyang 550025, China)

(4. Department of Food Science and Engineering, Moutai Institute, Renhuai 564507, China)

(5. Institute of Food Processing, Guizhou Academy of Agricultural Sciences, Guiyang 550006, China)

**Abstract:** In order to solve the problem regarding the loss of crisp texture of potato chips after full thermal processing, the effects of acetic acid and calcium and their synergistic pretreatment on the texture of potato slices after thermal processing were studied in this experiment. Sliced potatoes (SP) pretreated with acetic acid and calcium chloride was considered as a strategy to enhance the textural characteristic of SP after thermal processing. Base on the single factor test, the variation of hardness of SP after thermal processing was used as the response value. In order to acquire optimal formula of pretreatment for SP, the response surface design was used. On the basis of the single factor experiments, taking the acetic acid concentration, calcium chloride concentration and soaking time as the design factors, and the hardness of potato slices after cooking for 10 min as the response value, the response surface method was used to optimize the synergistic action of acetic acid with calcium chloride to improve the hardness of potato slices. Finally, the optimal parameters for improving the hardness of potato slices were determined as

引文格式:

邹妍, 李佳容, 李飞, 等. 利用乙酸协同氯化钙提升马铃薯片热加工质构特性[J]. 现代食品科技, 2022, 38(4): 140-146, +200

ZOU Yan, LI Jiarong, LI Fei, et al. Improving texture properties of sliced potatoes during thermal processing by acetic acid in synergy with calcium chloride [J]. Modern Food Science and Technology, 2022, 38(4): 140-146, +200

收稿日期: 2021-06-01

基金项目: 贵州省人才团队项目黔科合平台人才([2020]5002); 国家自然科学基金项目(32060545、31760463); 贵州省薯类产业技术创新人才基地项目([2016]22); 茅台学院特色食品资源综合利用创新平台建设(黔科中引地[2019]4006); 贵州特色食品开发及综合利用工程研究中心(黔教合 KY 字[2020]022)

作者简介: 邹妍(1989-), 女, 讲师, 研究方向: 食品加工, E-mail: 542377577@qq.com

通讯作者: 董楠(1987-), 女, 助理研究员, 研究方向: 食品加工, E-mail: 460288583@qq.com

follows: acetic acid 5.26 mL/L; calcium chloride 5.28 mg/L; soaking time 11.1 h. In the meantime, the microscopic examinations and X-ray microanalyses of different samples revealed that the cells of the heat-treated potato slices had severe intercellular separation, whilst the cells of potato slices treated with acetic acid in synergy with calcium chloride followed by steaming for 10 min were still tightly connected. The amount of the permeated calcium in the potato slices soaked with both acetic acid and calcium chloride was significantly higher than that for the slices soaked with calcium chloride only. The results further revealed the reason behind the improved hardness of potato slices pretreated with acetic acid and calcium chloride, which also provides a basis for the late-stage processing of flavored instant potato chips.

**Key words:** sliced potatoes; acetic acid; calcium chloride; hardness; scanning electron microscopy; X-ray scan

马铃薯作为我国四大主食之一,年产量占世界第一。“十三五”期间,随着国家推行实施马铃薯主食化战略,马铃薯主食化的产品总消费量的占比显著提高<sup>[1-6]</sup>。随着该战略的推行,新鲜马铃薯切片,全粉制品和马铃薯薯泥被作为马铃薯产品开发的主要焦点和方向,并得到了广大消费者和科研工作者的广泛关注<sup>[7-12]</sup>。

在马铃薯相关产品的开发中,最大的阻力来自于马铃薯经加热处理后会迅速变软和塌陷<sup>[13]</sup>,失去良好的品相。这是因为在受热后,马铃薯细胞中的果胶物质经过了一系列的变化,包括果胶物质的严重降解,出现严重的胞间分离,淀粉也因此糊化溶出<sup>[14-19]</sup>,失去爽脆的口感,质地软化。

其实,有一个生活常识就和这个现象息息相关,在炒制土豆丝时,厨师通常都会加醋来保持土豆丝爽脆的口感。无独有偶,在酸汤火锅里面的土豆片也能在长时间的煮制后仍然保持较硬的质构特性。关于其中的科学依据,前人的研究或许能给出一些答案。Favaro等<sup>[20]</sup>比较了三种耐煮性不同的木薯中化学成分的差异,发现二价阳离子、植酸、糖醛酸含量以及细胞壁的单糖组成均存在差异。同时,它们在蒸煮后的吸水率、可溶性和不溶性固体物质的溶出率都出现了显著性差异。Zhao等<sup>[21]</sup>发现乙酸处理后,马铃薯质构得到显著提升,细胞壁中单糖组成发生改变。电镜观察乙酸处理后的马铃薯细胞壁更为完整。Ng等<sup>[22]</sup>对马铃薯经氯化钙浸泡处理后,其蒸制后的硬度提高约30%。前期的研究中发现,利用乳酸和钙协同处理鲜切马铃薯片可以防止果胶的降解,从而防止热加工过程中硬度的下降<sup>[23]</sup>。针对以上结论,设计本实验,以不同的预处理工艺(不同的预处理溶液,处理时间)来探究该工艺对马铃薯片热处理后硬度的影响,结果与鲜切马铃薯片做对比。最后根据单因素试验的结果设计响应面试验,得到了乙酸和氯化钙协同预处理马铃薯来改善马铃薯热处理后质构的最佳工艺配方,此研究为后期即食类马铃薯风味产品的加工及贮藏保鲜提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验材料

试验品马铃薯均产自威宁,试验过程中所用马铃薯均为同一时间采收的同一批次,一次性采购后储藏备用。挑选新鲜优质马铃薯,表面无腐败破损,色泽鲜亮。

### 1.2 实验试剂

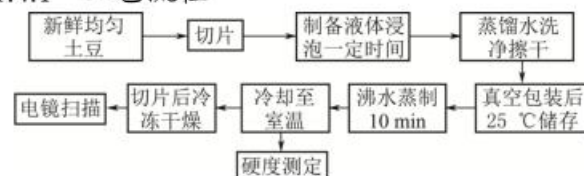
冰乙酸和氯化钙,均为食品级:山东优索化工科技有限公司。

### 1.3 仪器与设备

TMS-PRO 物性测试仪,美国 FTC 公司;超声波清洗机,昆山市超声仪器有限公司;BSA223S 电子分析天平,赛多利斯科学仪器(北京)有限公司;KEO-19AS35TE 电磁炉,深圳康佳智能电器科技有限公司;JSM-7800-F 扫描电子显微镜,日本 JEOL 公司;X-MaxN X-射线能谱仪,OXFORD 公司;SCIENTZ-10ND 真空冷冻干燥机,宁波新芝生物科技股份有限公司。

### 1.4 试验方法

#### 1.4.1 工艺流程



#### 1.4.2 操作要点

##### 1.4.2.1 乙酸溶液的制备

用干净量筒量取冰乙酸溶于蒸馏水中,配制成不同浓度的乙酸溶液,浓度分别为 2、4、6、8、10 mL/L,现制现用。

##### 1.4.2.2 氯化钙溶液的制备

称取氯化钙使之完全溶解于蒸馏水,制得不同浓

度的氯化钙溶液,浓度分别为2、4、6、8、10 mg/L,现制现用。

#### 1.4.2.3 原料的预处理

选取新鲜马铃薯(长7~8 cm,宽3~4 cm),清洗,去皮,切分成圆片状(厚度为3 mm),选取直径为3~4 cm的马铃薯切片,随机每3片为一组。其中,切片以冰乙酸和氯化钙溶液混合后,浸泡处理(具体见单因素设置)。同时,对照(CK)则使用蒸馏水浸泡的切片。浸泡处理结束后,取出切片后以蒸馏水淋洗3次,再用滤纸吸附表面的溶剂,抽真空包装后于25℃恒温箱中贮藏备用。指标测定前,将真空包装的样品放置在沸腾的蒸锅中蒸制5 min,冷却后立即测定样品硬度。

#### 1.4.2.4 硬度测定<sup>[24,25]</sup>

由TMS-PRO物性测试仪,配探头(50 mm直径),TPA测定模式(二次咀嚼实验)。测定参数设置为:Test space: 15 mm; Speed before test: 1.0 mm/s; Speed after test: 1.0 mm/s; The pause time between test: 5 s; Deformation percentage: 50%。

#### 1.4.3 单因素试验

马铃薯片按照1.4.2.3制备,以乙酸的浓度、氯化钙的浓度以及溶液处理时间为因素进行实验,各因素的水平分别为:乙酸的浓度(氯化钙的浓度设置为6 mg/L,溶液处理时间为9 h):2、4、6、8、10 mL/L;氯化钙的浓度(乙酸的浓度设置为6 mL/L,溶液处理时间为9 h):2、4、6、8、10 mg/L;溶液处理时间为(乙酸的浓度设置为6 mL/L,氯化钙的浓度设置为6 mg/L):3、6、9、12、15 h,各样品组按照1.4.2.4中方法进行硬度测定,选取最大硬度为最佳浸泡浓度及浸泡时间。

#### 1.4.4 响应面试验

表1 因素水平表

Table 1 3 Factor and 3 level of response surface design for the pretreatment of sliced potato

水平	A 乙酸 浓度/(mL/L)	B 氯化钙 浓度/(mg/L)	C 浸泡 时间 /h
1	4	2	9
0	6	4	12
-1	8	6	15

在乙酸浓度、氯化钙浓度和溶液预浸泡时间3个单因素试验结果上,选择相应的3个水平设计响应面试验,见表1。以蒸煮10 min后马铃薯片的硬度值为目标响应值,得出马铃薯片维持最佳硬度的浸泡工艺。氯化钙与乙酸混合液的配置:按照固定浓度配比加入相应体积的乙酸及相应质量的氯化钙,充分混合后备用。

#### 1.4.5 马铃薯细胞的显微结构观察及 X-射线微区分析

将蒸制冷却后的马铃薯片折断,用手术刀片切成薄片。一侧留出断面,倒入液氮进行迅速冷冻,然后进行真空冷冻干燥。冷冻干燥10 h后取出,将其粘到样品座上。通过扫描电子显微镜,观察不同预处理条件下马铃薯断面的细胞结构的微观结构。将经过氯化钙处理和乙酸协同氯化钙处理后的马铃薯进行X射线微区分析,观察其内部的钙盐分布。

#### 1.5 数据分析

每个样本进行三次平行测试,并记录为平均值±偏差。数据显著性分析及响应面响应面设计分别使用SPSS 20.0软件及Design Expert 8.05。

## 2 结果与讨论

### 2.1 乙酸浓度对马铃薯蒸煮后硬度的影响

如图1所示,通过乙酸浸泡后的马铃薯片硬度大于对照组,这与Zhao等人<sup>[21]</sup>的研究一致,认为乙酸可以有效保持马铃薯完整细胞壁,防止热加工后马铃薯内部细胞间隙的变大,从而防止硬度的降低。Liu等人<sup>[23]</sup>通过对比电镜图发现酸处理能够使马铃薯细胞中的果胶发生胶凝化,继而在加热后使细胞结构保持完整。随着乙酸浓度的增加,马铃薯片硬度呈先增加后降低的趋势,在6 mL/L时硬度达到最大,随后硬度降低,但硬度值均大于未浸泡处理马铃薯片。

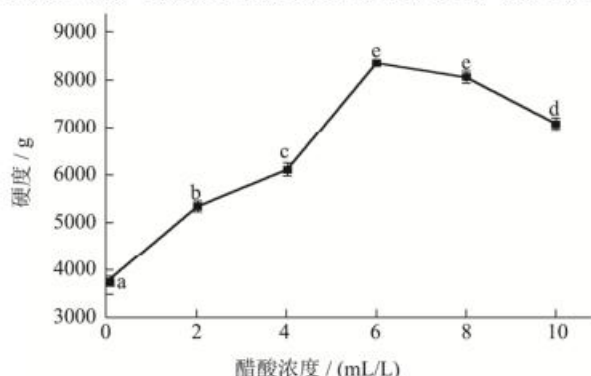


图1 乙酸浓度浸泡对马铃薯切片蒸煮后硬度的影响

Fig.1 Effect of acetic acid concentration during the pretreatment on the hardness of sliced potato after thermal processing

注:不同小写字母代表差异显著, $p < 0.05$ ;下同。

### 2.2 氯化钙浓度对马铃薯蒸煮后硬度的影响

如图2所示,在盐浓度低于4 mg/L时,切片的蒸煮后硬度跟盐的浓度成正比且在4 mg/L达到最大值,

继续增加盐浓度，硬度提升效果先是降低而后趋于平稳。这主要是因为预处理过程中，钙离子进入到马铃薯细胞间隙当中，并与果胶质通过螯合，形成稳定的果胶酸钙结构。由此，避免了细胞之间的分离，从而提升了热加工后马铃薯的硬度。而钙的结合位点有限，所以马铃薯的硬度呈现先升高后平稳的趋势<sup>[26,27]</sup>。

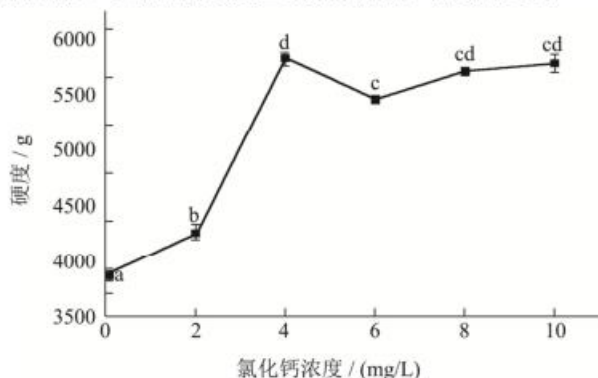


图2 氯化钙浓度浸泡对马铃薯切片蒸煮后硬度的影响

Fig.2 Effect of calcium chloride concentration during the pretreatment on the hardness of sliced potato after thermal processing

### 2.3 浸泡时间对马铃薯蒸煮后硬度的影响

如图3所示，当乙酸溶液和氯化钙溶液浓度分别为6 mL/L和6 mg/L时，随着浸泡时间的增加，马铃薯切片蒸煮后的硬度呈先上升后下降的趋势，当浸泡时间为12 h时硬度值最大。由此可知，浸泡时间长短对硬度影响很大，浸泡12 h最为合适。

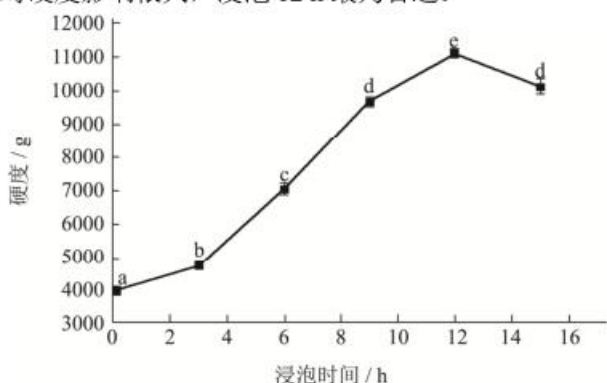


图3 浸泡时间对马铃薯切片蒸煮后硬度的影响

Fig.3 Effect of soaking time during the pretreatment on the hardness of sliced potato after thermal processing

由结果可以看出，预处理时的乙酸溶液浓度，氯化钙溶液浓度和溶液的浸泡时间都会对最后的硬度有直接的影响。所以，通过响应面优化来得到最优预处理工艺很有必要。

### 2.4 响应面试验

#### 2.4.1 响应面实验设计与结果

以4 mg/L的氯化钙及6 mL/L的乙酸，为马铃薯切片的预处理的中心值。分别将乙酸浓度、氯化钙浓度、浸泡时间设置为A、B、C三个响应变量，将蒸煮后马铃薯片的硬度值设为响应值。以Design-Expert 8.0.5软件设计3因素3水平的试验。并对结构进行方差分析，见表2及表3。

通过二次多项式回归方程对表2中的数据进行拟合。以条件参数：(A)乙酸浓度、(B)氯化钙浓度及(C)处理时间对马铃薯片蒸煮后的硬度值(Y)，运用方程进行拟合，并得到如下公式：

$$Y=4228.48-699.39A+93.13B-325.71C+77.42AB-364.70AC-157.68BC-512.27A^2+318.06B^2-623.06C^2 \quad (1)$$

表2 响应面试验的实施方案及对应结果

Table 2 Response surface test design scheme and results for the

pretreatment of sliced potato				
试验号	A	B	C	硬度/g
1	1	1	0	3475.2±168.2
2	-1	1	0	4666.8±220.3
3	1	-1	0	3246.9±110.2
4	-1	-1	0	4748.2±257.8
5	1	0	1	1768.6±82.3
6	-1	0	1	3949.1±92.6
7	1	0	-1	2966.6±86.5
8	-1	0	-1	3688.3±115.3
9	0	1	1	3498.2±115.2
10	0	-1	1	3514.5±76.2
11	0	1	-1	4647.8±207.3
12	0	-1	-1	4033.4±227.2
13	0	0	0	4088.4±192.6
14	0	0	0	4144.5±153.2
15	0	0	0	4329.1±110.2
16	0	0	0	4251.3±228.2
17	0	0	0	4329.1±119.5

由方差分析(如表3)可知：模型的p小于0.001，由于失拟项 $p=0.1768>0.05$ ，所以该方程所得数据具有统计学意义。模型试验值与预测值的相关系数也满足建模要求且拟合情况良好( $R^2=0.9835$ ,  $R_{Adj}=0.9623$ )。由此，证明本试验中所取得的模型具有较高的可信度和准确性。经表3结果可以证实，在前处理过程当中，溶液中乙酸浓度(A)和前处理时间(C)显著影响着马铃薯片蒸煮后的硬度( $p<0.01$ )；在前处理过程当中，溶液中氯化钙浓度(B)却不影响马铃薯片蒸煮后硬度( $p>0.05$ )； $A^2$ 、 $B^2$ 、 $C^2$ 显著影响马铃薯片蒸煮后的硬度( $p<0.01$ )；溶液中乙酸浓度(A)和前处理时间(C)的交互作用显著影响马铃薯片蒸煮后

的硬度影 ( $p < 0.01$ )；而其它交互作用不影响马铃薯片蒸煮后的硬度无 ( $p > 0.05$ )。通过模型的 F 值判断, 条件参数对马铃薯片蒸煮后的硬度的影响大小顺序为: 乙酸浓度 > 处理时间 > 氯化钙浓度。

求解该回归方程, 可以得到马铃薯片预处理工艺的最佳参数分别为乙酸浓度为 5.26 mL/L、氯化钙浓

度为 5.82 mg/L 及处理时间为 11.1 h。而最终马铃薯片的硬度值为 4781.26 g。为了验证最终的结果, 以调整后的工艺参数, 对其硬度进行 3 次测定。最终, 马铃薯切片的硬度值为 4655.23g, 与预测值 4781.26 g 之间无显著差异。因此, 该模型可以应用于马铃薯切片的预处理工艺。

表 3 回归方程的方差分析

Table 3 Analysis of variance of regression equation for the pretreatment of sliced potato

方差来源	平方和	df	均方	F	p	显著性
模型	8651000	9	961200	46.33	<0.0001	**
A	3913000	1	3913000	188.63	<0.0001	**
B	69378	1	69378	3.34	0.1101	
C	848700	1	848700	40.91	0.0004	**
AB	23978	1	23978	1.16	0.318	
AC	532000	1	532000	25.65	0.0015	**
BC	99445	1	99445	4.79	0.0647	
A <sup>2</sup>	1105000	1	1105000	53.26	0.0002	**
B <sup>2</sup>	425900	1	425900	20.53	0.0027	**
C <sup>2</sup>	1635000	1	1635000	78.79	< 0.0001	**
残差	145200	7	20745			
失拟项	97773	3	32591	2.75	0.1768	
纯误差	47444	4	11861			
总离差	8796000	16				

注: \*:  $p < 0.05$ , 差异显著; \*\*:  $p < 0.01$ , 差异极显著。R-Squared=0.9839; Adj R-Squared=0.9633。

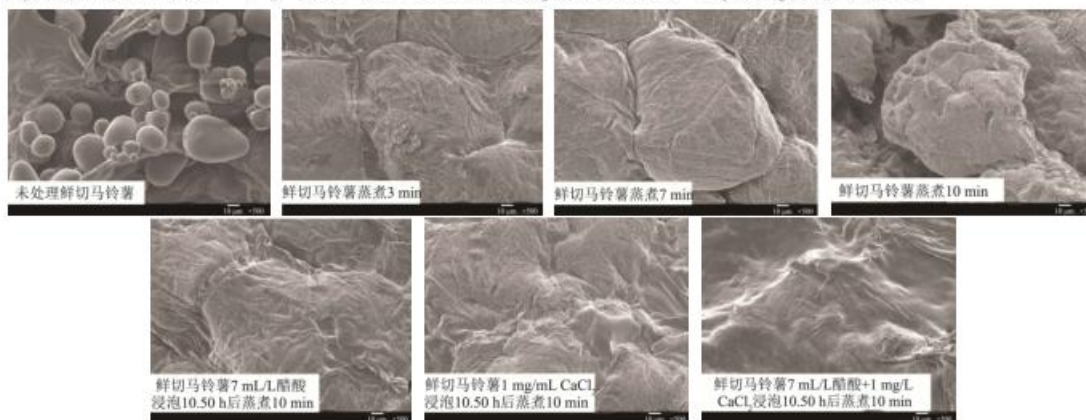


图 4 扫描电镜下观测马铃薯切片的细胞结构

Fig.4 Scanning electron microscopy observation of cell structure of sliced potato

### 2.5 马铃薯细胞的显微观察结果

图 4 为样品分别放大 500 倍的扫描电子显微镜观察结果图。观察结果图可以看到, 没有经过预处理的马铃薯在加热过后结构发生很大的改变, 淀粉粒在高温和水分的作下糊化溶出。随着加热时间的增加, 细胞间连接不再紧密, 细胞壁被热作用严重破坏失去原来的形态。对比之下经过酸溶液和盐溶液浸泡之后的马铃薯细胞彼此连接紧密, 看不到很具体的细胞轮

廓。且经过乙酸浸泡和氯化钙浸泡协同作用的马铃薯比只用乙酸溶液浸泡和只用氯化钙溶液浸泡的马铃薯表现出更紧密的细胞结构。预处理过的马铃薯在长时间的蒸煮后仍能保持良好的硬度, 可能就是因为其细胞的结构得以保持。

图 5 是不同预处理条件下的 X-射线扫描图和元素图谱。图 a 和图 b 分别是最优参数下只用氯化钙溶液浸泡或只用乙酸浸泡马铃薯, 浸泡相同的时间后在相同的蒸制时间处理后的样品的 X-射线扫描图和元素

图谱。可以看到,氯化钙浸泡后在细胞内部有氯化钙存在(a图黄色部分),乙酸浸泡后在马铃薯细胞内部有乙酸钙存在(b图橙色部分)。通过元素图谱可以看出,马铃薯内部乙酸钙的量大于氯化钙,这说明钙离子对细胞的结构也有一定的影响。同时,有很多前人的研究也说明了这一点,钙离子会参与稳定生物膜的稳定性,从而提高植物组织的质构特性<sup>[28,29]</sup>。

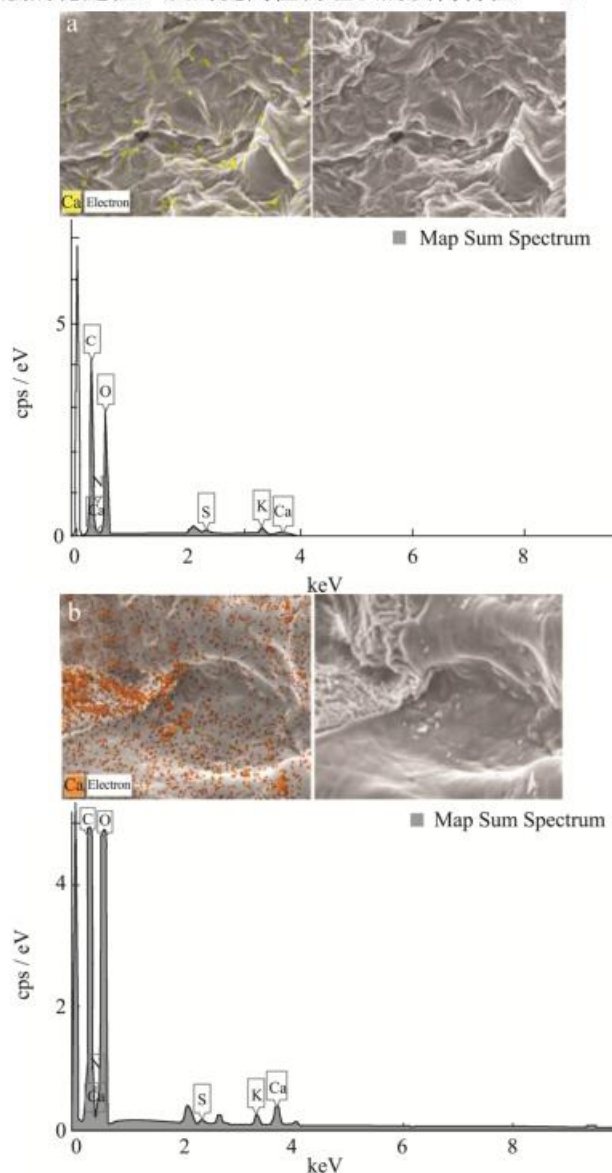


图5 X-射线扫描图谱

Fig.5 The results of X-ray scan of potato

### 3 结论

马铃薯在煮制之后会发生不理想的质构降低的现象,这不仅影响口感和风味,还限制了马铃薯的加工前景。本实验选择乙酸和氯化钙作为预处理溶液,通过加工前浸泡的方法提高其煮制后硬度。先进行单因素试验探究各变量的最佳范围,在此基础上以三个因素为响应变量,热加工后马铃薯的硬度为响应值。得

出提升马铃薯加热后硬度的最佳工艺参数为:乙酸浓度为5.26 mL/L、氯化钙浓度为5.28 mg/L、浸泡时间为11.1 h。此外,通过对试验品的电镜扫描结果和X-射线扫描图和元素图谱分析,马铃薯之所以经过预处理就能在加热后保持良好的脆性,和其细胞间的相互连接是否紧密有关。而钙离子又能通过形成稳定的果胶钙结构,参与提高细胞的胞间链接性。该工艺处理后的马铃薯能具有最好的硬度保持效果,可为以后的马铃薯相关产品的开发提供参考。

### 参考文献

- [1] 王芳,刘雁南,赵文.推进中国马铃薯主食化进程研究[J].世界农业,2016,3:11-14  
WANG Fang, LIU Yannan, ZHAO Wen. Study on promoting the main food process of potato in China [J]. World Agriculture, 2016, 3: 11-14
- [2] 金黎平,罗其友.我国马铃薯产业发展现状和展望[M].哈尔滨:哈尔滨工程大学出版社,2013  
JIN Liping, LUO Qiyu. Current Situation and Prospect of Potato Industry in China [M]. Harbin: Harbin Engineering University Publisher, 2013
- [3] 许庆芬,陈东升,谷春英,等.关于甘肃和河北省马铃薯产业调研[J].黑龙江农业科学,2010,8:150-152  
XU Qingfen, CHEN Dongsheng, GU Chunying, et al. Investigation on potato industry in Gansu and Hebei Province [J]. Heilongjiang Agricultural Sciences, 2010, 8: 150-152
- [4] Food and Agriculture Organization. FAO stat [EB/OL]. (2010-11-01) [2011-11-10]. <http://faostat.Thefao.org>. International Potato Center
- [5] Feeding the future: China and the International Potato Center launch new center to boost potato And the Pacific and Sweet potato capacity across China, Asia [EB/OL]. (2010-12-19) [2011-11-10]. <http://www.Cipotato.Org/press-room/press-releases/feeding-the-future>
- [6] Zou L. Potato and western China development [J]. Journal of Guizhou Institute of Finance and Economics, 2009, 3: 108-110
- [7] 徐芬.马铃薯全粉及其主要组分对面条品质影响机理研究[D].北京:中国农科院,2016  
XU Fen. Study on the effect mechanism of potato powder and its main components on noodle quality [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2016
- [8] 陈中爱,刘永翔,陈朝军,等.彩色马铃薯馒头的制备及质构特性主成分分析[J].食品科技,2016,41:163-166  
CHEN Zhongai, LIU Yongxiang, CHEN Chaojun, et al.

- Preparation and principal component analysis on textural properties of colorful potato steamed bread [J]. Food Science and Technology, 2016, 41: 163-166
- [9] 刘程惠,胡文忠,姜爱丽,等.不同贮藏温度下鲜切马铃薯的生理生化变化[J].食品与机械,2008,2:38-42
- LIU Chenghui, HU Wenzhong, JIANG Aili, et al. Physiological and biochemical changes of fresh-cut potato at different storage temperatures [J]. Food and Machinery, 2008, 2: 38-42
- [10] 余欣荣.以科技创新引领马铃薯主粮化发展[J].农村工作通讯,2015,2:8-10
- YU Xinrong. Leading the development of potato main grain by scientific and technological innovation [J]. China Academic Journal Electronic Publishing House, 2015, 2: 8-10
- [11] 王小萱.国家马铃薯主食化战略进入落地实施阶段[N].中国食品报,2015,03-23
- WANG Xiaoxuan. The national potato staple food strategy has entered the implementation stage [N]. China Food Newspaper, 2015, 03-23
- [12] 毛绪强,刘月姣.新战略研讨:马铃薯主粮化[J].农产品市场周刊,2015,2:5
- MAO Xuqiang, LIU Yuejiao. Discussion on new strategy: staple food of potato [J]. Farm Produce Market Weekly, 2015, 2: 5
- [13] Parker C C, Parker M L, Smith A C, et al. Pectin distribution at the surface of potato parenchyma cells in relation to cell-cell adhesion [J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2001, 49: 4364-4371
- [14] Shomer I. Swelling behaviour of cell wall and starch in potato (*Solanum tuberosum* L.) tuber cells-I. Starch leakage and structure of single cells [J]. Carbohydrate Polymers, 1995, 26: 47-54
- [15] Shomer I, Vasiliver R, Lindner P. Swelling behaviour of cell wall and starch in potato (*Solanum tuberosum* L.) tuber cells-II. Permeability and swelling in macerates [J]. Carbohydrate Polymers, 1995, 26: 55-59
- [16] Palermo M, Pellegrini N, Fogliano V. The effect of cooking on the phytochemical content of vegetables [J]. Journal of the Science of Food & Agriculture, 2014, 94: 1057-1070
- [17] Tian J, Chen S, Wu C, et al. Effects of preparation methods on potato microstructure and digestibility: an *in vitro* study [J]. Food Chemistry, 2016, 211: 564-569
- [18] Imaizumi T, Tanaka F, Hamanaka D, et al. Effects of hot water treatment on electrical properties, cell membrane structure and texture of potato tubers [J]. Journal of Food Engineering, 2015, 162: 56-62
- [19] Jarvis M C, Mackenzie E, Duncan H J. The textural analysis of cooked potato. 2. Swelling pressure of starch during gelatinisation [J]. Potato Research, 1992, 35: 93-102
- [20] Favaro S P, Beléia A, Junior N, et al. The roles of cell wall polymers and intracellular components in the thermal softening of cassava roots [J]. Food Chemistry, 2008, 108: 220-227
- [21] Zhao W, Shehzad H, Yan S, et al. Acetic acid pretreatment improves the hardness of cooked potato slices [J]. Food Chemistry, 2017, 228: 204-210
- [22] Ng A, Waldron K W. Effect of steaming on cell wall chemistry of potatoes (*Solanum tuberosum* cv. Bintje) in relation to firmness [J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 1997, 45: 3411-3418
- [23] Liu J, Wen C W, Wang M, et al. Enhancing the hardness of potato slices after boiling by combined treatment with lactic acid and calcium chloride: mechanism and optimization [J]. Food Chemistry, 2020, 308: 124832
- [24] 刘娟,梁延超,余斌,等.马铃薯薯条色泽和质地特性及薯条加工型品系筛选[J].中国农业科学,2017,22:4247-4265
- LIU Juan, LIANG Yanchao, YU Bin, et al. Screening for French fries processing potato lines according to colour qualities and texture properties [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2017, 22: 4247-4265
- [25] 黄欢,王绍帆,韩育梅.超高压处理对鲜切马铃薯质地及细胞壁多糖含量的影响[J].食品工业科技,2020,2:258-266
- HUANG Huan, WANG Shaofan, HAN Yumei. Effect of ultra high pressure treatment on the texture and cell wall polysaccharide content of fresh-cut potato [J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 2: 258-266
- [26] 丁红瑾.钙处理对贮藏期马铃薯主要成分及生理生化指标的影响[D].银川:宁夏大学,2013
- DING Hongjin. Effects of calcium treatment on main components and physiological and biochemical indexes of potato during storage [D]. Yinchuan: Ningxia University, 2013
- [27] 陈发河,张维一,吴光斌.钙渗入对香梨果实贮藏期间生理生化的影响[J].园艺学报,1991,4:365-368
- CHEN Fahe, ZHANG Weiyi, WU Guangbin. Effects of calcium infiltration on physiology and biochemistry of fragrant pear fruit during storage [J]. Acta Horticulturae Sinica, 1991, 4: 365-368