

小黄姜腌制过程中硬度变化及其影响因素研究

张 灿, 刘广宇, 叶晓仪, 王金华*

(贵阳学院食品与制药工程学院, 贵阳 550000)

摘 要: **目的** 综合分析小黄姜在腌制过程中硬度变化的影响因素。**方法** 采用质构仪检测小黄姜硬度, 咔唑比色法测定果胶含量, 称量法测定纤维素、乙醇不溶物含量, 酸碱滴定法测定总酸含量, 间接沉淀滴定法测定食盐含量, DNS 比色法测定多聚半乳糖醛酸酶和纤维素酶活性。采用 SPSS 对小黄姜腌制过程中硬度变化与各指标变化的相关性进行分析。**结果** 小黄姜在腌制过程中硬度不断降低, 硬度变化与总酸、食盐、水溶性果胶含量呈极显著负相关($P<0.01$), 与乙醇不溶物、纤维素、原果胶含量呈极显著正相关($P<0.01$), 总酸含量、食盐含量的增加会导致小黄姜硬度的显著下降, 乙醇不溶物、纤维素、原果胶含量的降低会导致小黄姜硬度的降低; 多聚半乳糖醛酸酶活性与硬度间呈显著正相关($P<0.05$), 纤维素酶活性与硬度间呈极显著正相关($P<0.01$)。**结论** 各影响因素与腌制小黄姜软化密切相关, 其中原果胶含量变化是影响小黄姜腌制品硬度变化的主要原因。

关键词: 小黄姜; 腌制; 硬度; 相关性分析

Study on hardness change and its influencing factors of *Zingiber officinale* Roscoe during pickling

ZHANG Can, LIU Guang-Yu, YE Xiao-Yi, WANG Jin-Hua*

(school of Food and Pharmaceutical Engineering, Guiyang University, Guiyang 550000, China)

ABSTRACT: Objective To comprehensively analyze the factors affecting the hardness of *Zingiber officinale* Roscoe during pickling. **Methods** The hardness of *Zingiber officinale* Roscoe was measured by texture analyzer, The pectin content was determined by carbazole colorimetry, cellulose and ethanol insoluble matter were measured by weighing method, total acid content adopted acid-base titration method, salt content adopted indirect precipitation titration method, and DNS colorimetry was used for the determination of polygalacturonase and cellulase activity. SPSS was used to analyze the correlation between hardness change and index changes during pickling. **Results** The hardness of *Zingiber officinale* Roscoe decreased during pickling, the hardness change was negatively correlated with the content of total acid, salt and water-soluble pectin ($P<0.01$), and positively correlated with the the content of ethanol insoluble, cellulose, pectin ($P<0.01$), the increase in total acid content, salt content and water-soluble pectin content would cause the decrease of hardness of ginger, the decrease of ethanol insoluble content, cellulose content and protopectin content would lead to the decrease of hardness of ginger; there was a significant positive correlation between polygalacturonase activity and hardness ($P<0.05$), and there was a very significant positive correlation

基金项目: 黔科合支撑项目([2021]一般 138)

Fund: Supported by the Department of Science and Technology of Guizhou Province ([2021] commonly 138)

*通信作者: 王金华, 硕士, 正高级实验师, 主要研究方向为果蔬精深加工、食品营养与安全。E-mail: 292723451@qq.com

*Corresponding author: WANG Jin-Hua, Master, Senior Engineer, School of Food and Pharmaceutical Engineering, Guiyang University, Guiyang 550000, China. E-mail: 292723451@qq.com

between cellulase activity and hardness ($P<0.01$). **Conclusion** Each influencing factor is closely related to the hardness of *Zingiber officinale* Roscoe decreased during pickling. The change of pectin content is the main reason affecting the hardness of ginger pickles.

KEY WORDS: *Zingiber officinale* Roscoe; pickling; hardness; correlation analysis

0 引言

生姜(*Zingiber officinale* Roscoe)为姜科姜属多年生宿根草本植物, 又名姜, 属药食同源, 中国是生产生姜的主要国家之一, 生姜资源丰富^[1-2]。其中, 贵州小黄姜姜块小、鲜姜带有清香味, 口感上辣味浓郁、纤维细小、味道鲜美, 品质好, 含有碳水化合物、多种维生素、蛋白质以及矿物质等多种营养物质, 同时还含有生姜特有姜辣素、姜油酮、姜酚等, 具有抗氧化作用、抗炎作用、抑菌作用、抗肿瘤作用、降糖作用等多种药理作用^[3-5]。

蔬菜在腌制过程中变软的原因主要有 3 点: 一是果胶物质的分解, 果胶是组成细胞壁的成分, 它和纤维素在细胞层间与蛋白质形成粘合剂, 使蔬菜具有较高的硬度, 果胶的分解使细胞间失去粘性, 硬度下降^[6]。二是细胞膨压的改变, 果蔬脱水后, 膨压下降, 细胞壁与原生质层发生质壁分离, 导致硬度下降^[7]。三是细胞结构的变化, 果蔬在腌制过程中受到各种化学物质以及微生物的作用, 导致果蔬细胞结构破裂, 质地下降^[8-9]。细胞壁组分如果胶、纤维素、乙醇不溶物以及与之相关的酶如多聚半乳糖醛酸酶(polygalacturonase, PG)、纤维素酶活性等因素与果蔬质地的变化密切相关, 细胞壁组分的降解影响果蔬的硬度, 纤维素酶以及 PG 会不断分解相应底物使果蔬软化^[10-11]。原果胶被不断降解为可溶性果胶、纤维素的溶解, 均会使果蔬细胞结构受损而变得松弛, 果蔬的质地也随之下降^[12]。

贵州小黄姜腌制后口感清脆, 酸辣适口, 很受消费者喜爱, 但随着储存时间的延长, 腌制小黄姜质地变软, 口感劣化, 严重影响产品的销量, 为解决该问题, 本研究对小黄姜研制过程中的硬度、总酸含量、氯化钠含量、乙醇不溶物含量、纤维素含量、原果胶含量、水溶性果胶含量、多聚半乳糖醛酸酶活性、纤维素酶活性进行动态监测, 综合分析小黄姜在腌制过程中质地变化的影响因子, 为解决腌制小黄姜产品质地劣化问题提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

小黄姜: 采自贵州安顺镇宁小黄姜种植基地; 采收时间为 5 月, 挑选完整、无霉烂、无机械损伤、色泽较好的新鲜小黄姜。

糟辣椒(贵州苗姑娘控股集团); 食盐(食品级, 四川省

盐业总公司); 白酒(食品级, 北京红星股份有限公司); 冰糖(食品级, 柳州市好客源食品有限公司); 米醋(食品级, 佛山市海天调味食品股份有限公司)。

无水乙醇、氢氧化钠(分析纯, 重庆万盛川东化工有限公司); 浓硫酸(分析纯, 昆明金城试剂有限公司); 咪唑(分析纯, 上海麦克林生化科技有限公司); 冰醋酸、无水乙酸钠、葡萄糖、氯化钠(分析纯, 成都金山化学试剂有限公司); 羧甲基纤维素钠(分析纯, 天津永大化学试剂有限公司); 乙醚(分析纯, 常熟市鸿盛精细化工有限公司); 聚半乳糖醛酸(分析纯, 上海阿拉丁生化科技股份有限公司); 酚酞(分析纯, 天津市科密欧化学试剂有限公司)。

1.2 仪器与设备

HN-8 数显恒温水浴锅(上海力辰邦西仪器有限公司); TA XT plus 质构仪(英国 Stable Micro Systems 公司); LE204E/02 分析天平(博特勒-托利多仪器上海有限公司); ZXY-48 电热恒温振荡器(常州润华电器有限公司); TGL-16A 高速冷冻离心机(湖南平凡科技有限公司); PHS-3C PH 计(上海仪电科学仪器股份有限公司); i3 紫外可见分光光度计(海能仪器); 101-2AB 电热恒温鼓风干燥箱(天津市泰斯特仪器有限公司)。

1.3 材料处理

将小黄姜清洗干净, 切成长度 2 cm 的段状, 装入坛内, 装至离坛口 5 cm 处, 加入腌制液以及糟辣椒淹没小黄姜, 糟辣椒与小黄姜质量比为 1:1, 盖好坛盖, 加盐水密封, 于 25 °C 条件下避光保存, 腌制 49 d。每隔 7 d 取样, 取样后先检测硬度, 然后分析其他指标, 各指标重复检测 3 次。

1.4 实验方法

1.4.1 硬度的测定

采用质构仪进行全质构分析(texture profile analysis, TPA), 采用 P5 平底圆柱探头, 触发力 5 N, 测前速度 1 mm/s, 测中速度 0.5 mm/s, 测后速度 1 mm/s, 试样压缩形变 50%, 两次压缩停顿 3 s。检测时, 将小黄姜切成长宽各为 1 cm 的块状, 每组样品取 15 个平行进行测定, 最终结果取平均值^[13]。

1.4.2 各影响因子的测定

总酸含量的测定参考 GB/T 12456—2008《食品中总酸的测定》中的酸碱滴定法; 食盐含量参考 GB/T 5009.39—2003《酱油卫生标准的分析方法》进行测定; 乙醇不溶物含量参考文献^[14]中的方法进行测定; 果胶含量参

考 NY/T 2016—2011《水果及其制品中果胶含量的测定 分光光度法》进行测定；纤维素含量参考 GB/T 5009.10—2003《植物类食品中粗纤维的测定》进行测定；多聚半乳糖醛酸酶活性、纤维素酶活性参考《果蔬采后生理生化实验指导》中的 DNS 比色法进行测定^[15]。

1.5 数据分析

采用 SPSS (Version 21.0) 进行显著性和相关性分析, 采用 Graph Pad (Version 8.0) 作图。除硬度外, 各项指标均重复测定 3 次, 取平均值。

2 结果与分析

2.1 小黄姜腌制过程中硬度的变化及其影响因素

小黄姜的硬度随着腌制时间的延长呈现出明显下降趋势, 腌制过程中硬度变化差异显著 ($P < 0.05$)。硬度由最开始的 3785 g 下降到 49 d 的 1657 g ($P < 0.05$)。小黄姜在腌制 14~21 d 左右硬度下降最快 ($P < 0.05$), 从 3468 g 下降到 2643 g, 之后几天呈现缓慢下降趋势 ($P > 0.05$)。

小黄姜腌制过程中总酸含量呈上升趋势。其中前 21 d 总酸含量上升较快, 由最初 0.15% 上升到 0.98%, 腌制小黄姜总酸变化差异显著 ($P < 0.05$), 第 28~49 d, 上升速度放缓, 至第 49 d 时总酸含量为 1.24%。腌制过程中总酸含量上升的原因可能在于乳酸发酵产生大量乳酸^[16-17], 后期, 由于蛋白酶分解产生氨基酸, 氨基酸代谢产生其他物质, 使总酸含量上升速度减缓^[18]。腌制初期总酸含量迅速上升能抑制腐败菌繁殖^[19]。但是, 随着腌制时间的延长, 总酸含量的增加会导致原果胶水解速度加快, 使小黄姜硬度下降。

小黄姜腌制过程中食盐含量呈上升趋势。经过 7 d 腌制, 小黄姜中食盐含量迅速增加至 5.71%, 后期腌制过程中食盐含量上升趋势平缓, 由第 14 d 的 7.21% 缓慢上升至 49 d 的 8.41%, 腌制过程中食盐含量的变化差异显著 ($P < 0.05$)。在腌制过程中, 新鲜小黄姜内外食盐含量差异较大, 在渗透压的作用下, 前期食盐渗透速度快, 随着内外食盐含量的差异逐渐减小, 在腌制后期食盐的渗透速度逐渐变缓, 最终达到渗透平衡^[20]。食盐含量的增加, 使细胞组织失去自由水, 但维持细胞结构的结合水保存, 使生姜的硬度得以保持; 但是食盐中的 Na^+ 会替换果胶中的 Ca^{2+} , 使小黄姜硬度下降^[21]。食盐含量在前 21 d 增加最快, 这也导致小黄姜硬度在前 21 d 下降迅速。

小黄姜腌制过程中乙醇不溶物含量呈下降趋势, 新鲜小黄姜中乙醇不溶物含量为 2.91%, 49 d 后, 乙醇不溶物含量下降至 2.06%, 腌制过程中小黄姜乙醇不溶物含量的变化差异显著 ($P < 0.05$)。乙醇不溶物为果胶分子之间的连接物, 能够与 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 结合增加果蔬结构的硬度^[22]。乙醇不溶物含量的减少会使得小黄姜硬度降低, 质地变软。

小黄姜中纤维素的含量在腌制过程中也呈现下降趋

势, 但整体下降速度缓慢。由腌制初期的 0.95% 下降到 0.54%, 变化幅度较小, 0~14 d 小黄姜纤维素含量变化差异显著 ($P < 0.05$)。纤维素是植物细胞壁中主要组成成分, 对细胞起着支撑和保护作用, 纤维素在纤维素酶的作用下分解为葡萄糖, 从而导致小黄姜细胞壁结构被破坏, 使小黄姜软化^[23]。

小黄姜中原果胶含量随着腌制时间的延长呈现下降趋势, 从腌制初始的 2 g/kg 下降到腌制结束时的 0.52 g/kg。小黄姜中水溶性果胶的含量逐渐上升, 由腌制初期的 0.23 g/kg 上升至 0.95 g/kg, 腌制过程中原果胶含量和水溶性果胶含量变化差异显著 ($P < 0.05$)。原果胶不溶于水, 通常与纤维素形成果胶纤维, 使组织具有一定的强度和密度, 对组织硬度影响较大^[24]。腌制过程中, 原果胶在多聚半乳糖醛酸酶的作用下分解为水溶性果胶; Na^+ 替换了原果胶中起连接作用的 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} , 使细胞间的结合力降低, 组织硬度下降^[25-26]。

2.2 小黄姜腌制过程中多聚半乳糖醛酸酶和纤维素酶活性的变化

由图 1 可知, 小黄姜中 PG 活性随着腌制时间的延长呈现下降趋势, 从腌制初始的 338.5 $\mu\text{g}/(\text{h}\cdot\text{g})$ 显著下降到 28 d 时 122.5 $\mu\text{g}/(\text{h}\cdot\text{g})$ ($P < 0.05$)。这可能是由于食盐含量的增加打破渗透压平衡, 使酶的活性降低。但在腌制第 28~49 d, PG 酶活性变化又由 122.5 $\mu\text{g}/(\text{h}\cdot\text{g})$ 显著上升到 238.1 $\mu\text{g}/(\text{h}\cdot\text{g})$, 这可能是由于腌制后期部分微生物分泌了 PG 酶^[27]。蔬菜在腌制过程中, PG、果胶甲酯酶等水解酶的作用使细胞壁中的钙流失, 丧失细胞壁结构, 减弱了果胶分子之间的连接, 进而导致蔬菜软化^[28]。小黄姜中纤维素酶活性的变化随着腌制时间的延长呈现下降趋势, 从腌制初始的 522.74 $\mu\text{g}/(\text{h}\cdot\text{g})$ 显著下降到 169.38 $\mu\text{g}/(\text{h}\cdot\text{g})$ ($P < 0.05$)。纤维素酶将纤维素降解为葡萄糖, 纤维素含量的下降导致了细胞壁结构受损, 从而导致蔬菜的软化^[29]。

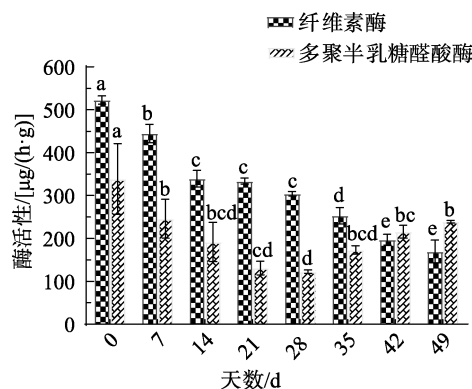


图1 小黄姜腌制过程中酶活性的变化

Fig.1 Changes of enzyme activity *Zingiber officinale* Roscoe during pickling

2.3 相关性分析

由表 1 可知, 各因素对小黄姜腌制过程中硬度的影响大小依次为: 原果胶含量>乙醇不溶物含量>纤维素酶活性>水溶性果胶含量>总酸含量>纤维素含量>食盐含量>PG 活性。其中, 总酸含量、食盐含量与硬度呈极显著负相关(分别 $r=-0.807$ 、 -0.738 , $P<0.01$), 总酸含量和食盐含量的增加使小黄姜硬度下降, 总酸含量的增加使果胶分解速度加快, 使组织硬度下降; 食盐含量可以通过改变小黄姜细胞膨压, 使小黄姜硬度下降。小黄姜腌制过程中主要细胞壁组分中乙醇不溶物含量、纤维素含

量、原果胶含量与硬度间呈极显著正相关(分别 $r=0.865$ 、 0.794 、 0.872 , $P<0.01$), 水溶性果胶与硬度间呈极显著负相关($r=-0.817$, $P<0.01$)。PG 活性与硬度间呈显著正相关($r=0.441$, $P<0.05$), 纤维素酶活性与硬度间呈极显著正相关($r=0.859$, $P<0.01$)。小黄姜腌制过程中原果胶含量的变化对硬度影响最大, 原果胶在果胶酶的作用下分解成果胶和果胶酸, 原果胶在酶的作用下水解时, 无法起到细胞间的黏接作用^[30]。小黄姜腌制过程中硬度的变化与原果胶、水溶性果胶含量变化的显著相关性说明原果胶的降解及水溶性果胶的增加使小黄姜脆度降低。

表 1 小黄姜腌制过程中各项指标与硬度变化相关性分析
Table 1 Correlation analysis of various indexes and hardness changes of *Zingiber officinale* Roscoe during pickling

	硬度	总酸含量	食盐含量	乙醇不溶物含量	纤维素含量	原果胶含量	水溶性果胶含量	多聚半乳糖醛酸酶活性	纤维素酶活性
硬度	1								
总酸含量	-0.807**	1							
食盐含量	-0.738**	0.871**	1						
乙醇不溶物含量	0.865**	-0.913**	-0.867**	1					
纤维素含量	0.794**	-0.824**	-0.770**	0.817**	1				
原果胶含量	0.872**	-0.845**	-0.743**	0.907**	0.855**	1			
水溶性果胶含量	-0.817**	0.683**	0.565**	-0.797**	-0.790**	-0.943**	1		
多聚半乳糖醛酸酶活性	0.441*	-0.583**	-0.632**	0.461*	0.527**	0.287	-0.127	1	
纤维素酶活性	0.859**	-0.865**	-0.800**	0.893**	0.893**	0.957**	-0.878**	0.403	1

注: *表示具有显著性($P<0.05$), **表示具有极显著性($P<0.01$)。

3 结论与讨论

本研究通过对小黄姜腌制过程中硬度以及与之相关的主要成分(总酸、食盐含量)、细胞壁组分(乙醇不溶物、纤维素、原果胶、水溶性果胶)含量以及相关酶(PG、纤维素酶)活进行检测分析, 为腌制小黄姜制品的品质改善提供理论依据。研究发现小黄姜腌制过程中硬度的下降与多方面因素有关, 总酸含量、食盐含量、水溶性果胶含量的增加, 乙醇不溶物含量、纤维素含量、原果胶含量的降低都会引起小黄姜硬度降低, 相关酶活的变化会引起原果胶和纤维素含量的变化也会导致硬度的下降。其中原果胶含量的变化是导致小黄姜腌制过程中硬度下降的主要原因, 相关研究分析也表明原果胶含量的下降与果蔬硬度的下降具有一致性。因此, 针对小黄姜腌制过程中软化问题, 可以采用如添加金属离子、低温烫漂、添加外源性果胶甲酯酶等与保持果胶含量相

关的方法以提高腌制小黄姜的品质。

参考文献

[1] 陆红佳, 张小玉, 游玉明. 粒度大小对姜渣膳食纤维理化特性的影响[J]. 食品工业, 2019, 40(9): 184-187.
LU HJ, ZHANG XY, YOU YM. Effect of particle size on physicochemical properties of dietary fiber from ginger slag [J]. Food Ind, 2019, 40(9): 184-187.

[2] 赵二芳, 刘乐, 徐未芳, 等. 生姜多糖提取及其功能活性研究现状[J]. 中国调味品, 2021, 46(1): 180-183.
ZHAO EL, LIU L, XU WF, et al. Research progress on extraction and functional activity of polysaccharides from ginger [J]. China Cond, 2021, 46(1): 180-183.

[3] 陆应会, 刘文, 吴雪莲, 等. 水城小黄姜高产栽培与贮藏技术[J]. 农技服务, 2017, 34(5): 48-49.
LU YH, LIU W, WU XL, et al. High-yield cultivation and storage

- technology of *Shuicheng Zingiber officinale* Roscoe [J]. *Agric Technol Serv*, 2017, 34(5): 48–49.
- [4] 刘波, 缪军, 吴雄. 生姜研究进展[J]. *黑龙江农业科学*, 2011, (5): 135–138.
- LIU B, MIU J, WU X. Research progress of ginger [J]. *Heilongjiang Agric Sci*, 2011, (5): 135–138.
- [5] 吴嘉澜, 王笑园, 王坤立, 等. 生姜营养价值及药理作用研究进展[J]. *食品工业*, 2019, 40(2): 237–240.
- WU JL, WANG XY, WANG KL, *et al.* Research progress on nutritional value and pharmacological action of ginger [J]. *Food Ind*, 2019, 40(2): 237–240.
- [6] JANTRAWUT P, ASSIFSOU A, CHAMBIN O. Influence of low methoxyl pectin gel textures and *in vitro* release of rutin from calcium pectinate beads [J]. *Carbohydr Polym*, 2013, 97(2): 335–342.
- [7] 刘卫, 董全. 腌制蔬菜保脆及保藏研究现状[J]. *中国酿造*, 2015, 34(1): 5–9.
- LIU W, DONG Q. Research status of crispness-keeping and preservation of pickled vegetables [J]. *China Brew*, 2015, 34(1): 5–9.
- [8] GONZALEZ ME, JERNSTEDT JA, SLAUGHTER DC, *et al.* Influence of cell integrity on textural properties of raw, high pressure and thermally processed onions [J]. *Food Sci*, 2010, 75(7): 409–416.
- [9] 姚佳, 胡小松, 廖小军, 等. 高静压对果蔬制品品质影响的研究进展[J]. *农业机械学报*, 2013, 44(9): 118–124, 117.
- YAO J, HU XS, LIAO XJ, *et al.* Research progress in effect of high hydrostatic pressure on texture of fruit and vegetable products [J]. *Trans Chin Soc Agric Mach*, 2013, 44(9): 118–124, 117.
- [10] 张娟, 高滋艺, 杨惠娟, 等. ‘秦冠’和‘富士’质地差异的解剖学观察及相关酶活性研究[J]. *西北农业学报*, 2015, 24(10): 88–94.
- ZHANG J, GAO ZY, YANG HJ, *et al.* Study on anatomy and fruit texture related enzymes in apple (*malus*×*domestica*) cultivars ‘Qinguan’ and ‘Fuji’ [J]. *Acta Agric Boreali-Occidentalis Sin*, 2015, 24(10): 88–94.
- [11] 高滋艺, 范献光, 杨惠娟, 等. 苹果发育过程中细胞壁代谢及果肉质地的变化[J]. *食品科学*, 2016, (37): 70–75.
- GAO ZY, FAN XG, YANG HJ, *et al.* Correlation among cell wall components, related enzyme activities and texture of developing fruits of different apple (*Malus*×*Domestica*) cultivars [J]. *Food Sci*, 2016, (37): 70–75.
- [12] 曹如霞, 徐舒, 李玲, 等. 甘薯块根贮藏期间细胞壁成分及降解酶活性变化[J]. *中国农业大学学报*, 2020, 25(5): 65–75.
- CAO RX, XU S, LI L, *et al.* Changes of cell wall components and degradation enzyme activity in sweetpotato storage roots during storage [J]. *J China Agric Univ*, 2020, 25(5): 65–75.
- [13] 何英东, 崔文甲, 李晓, 等. 低盐腌渍仔姜果胶甲酯酶保脆工艺的优化[J]. *中国调味品*, 2020, 45(2): 85–87, 92.
- HE YD, CUI WJ, LI X, *et al.* Optimization of pectin methylsterase on crispness-preserving technology for low-salt pickled tender ginger [J]. *China Cond*, 2020, 45(2): 85–87, 92.
- [14] CHASSAGNE-BERCES S, POIRIER C, DEVAUX MF, *et al.* Changes in texture, cellular structure and cell wall composition in apple tissue as a result of freezing [J]. *Food Res Int*, 2009, 42(7): 788–797.
- [15] 曹建康, 姜微波, 赵玉梅. 果蔬采后生理生化实验指导[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2007.
- CAO JK, JIANG WB, ZHAO YM. Physiological and biochemical experiment guidance for fruits and vegetables after harvest [M]. Beijing: China Light Industry, 2007.
- [16] TAO X, GUAN Q, SONG S, *et al.* Dynamic changes of lactic acid bacteria flora during Chinese sauerkraut fermentation [J]. *Food Control*, 2012, 26(1): 178–181.
- [17] JI YJ, SE HL, HYUN MJ, *et al.* Metatranscriptomic analysis of lactic acid bacterial gene expression during kimchi fermentation [J]. *Int J Food Microbiol*, 2013, 163(2-3): 171–179.
- [18] 梅明鑫, 刘卫, 晏敏, 等. 萝卜低盐腌制过程中硬度变化原因探究[J]. *中国酿造*, 2017(12). DOI: 10.11882/j.issn.0254-5071.2017.12.007
- MEI MX, LIU W, YAN M, *et al.* Reasons for brittleness changes of radish during pickling process with low-salt content [J]. *China Brew*, 2017(12). DOI: 10.11882/j.issn.0254-5071.2017.12.007
- [19] DROBY S, WISNIEWSKI M. The fruit microbiome: A new frontier for postharvest biocontrol and postharvest biology [J]. *Postharvest Biol Technol*, 2018, 140: 107–112.
- [20] FRAGKOSTEFANAKIS S, KALAITZIS P, GERASOPOULOS D, *et al.* Effects of NaCl on fermentative metabolism of mature green tomatoes cv. Ailsa Craig in brine [J]. *Food Technol Biotechnol*, 2010, 48(2): 182–188.
- [21] 陈光静, 汪莉莎, 郑炯, 等. 食盐质量浓度对大叶麻竹笋腌制过程中品质特性的影响[J]. *食品科学*, 2013(15): 48–52.
- CHEN GJ, WANG LS, ZHENG J, *et al.* Effect of salt concentration on quality of bamboo shoots during pickling [J]. *Food Sci*, 2013(15): 48–52.
- [22] CHANG CY, LIAO HJ, WU TP. Relationships between the textural changes and the contents of calcium, magnesium ions, and non-freezing water in the alcohol-insoluble solids of snap bean pods during cooking processes [J]. *Food Chem*, 1996, 55(1): 49–53.
- [23] 方诩, 秦玉琪, 李雪芝, 等. 纤维素酶与木质纤维素生物降解转化的研究进展[J]. *生物工程学报*, 2010, 26(7): 864–869.
- FANG X, QIN YQ, LI XZ, *et al.* Progress on cellulase and enzymatic hydrolysis of lignocellulosic biomass [J]. *Chin J Biotechnol*, 2010, 26(7): 864–869.
- [24] 陈光静, 郑炯, 汪莉莎, 等. 大叶麻竹笋腌制过程中质地变软原因探究[J]. *食品科学*, 2014, 35(1): 56–61.
- CHEN GJ, ZHENG J, WANG LS, *et al.* Mechanism of texture softening of bamboo shoots during pickling [J]. *Food Sci*, 2014, 35(1): 56–61.
- [25] 黄欢, 王绍帆, 韩育梅. 细胞壁对果实质地影响机制的研究进展[J]. *食品工业科技*, 2019, 424(8): 356–361, 373.
- HUANG H, WANG SF, HAN YM. Research progress on the mechanism of cell wall influence on fruit texture [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2019, 424(8): 356–361, 373.
- [26] 张元薇, 辛颖, 陈复生. 果实软化过程中果胶降解酶及相关基因研究进展[J]. *保鲜与加工*, 2019, 19(2): 147–153.
- ZHANG YW, XIN Y, CHEN FS. Research progress of pectin degrading enzymes and related genes in fruit softening [J]. *Storage Process*, 2019,

- 19(2): 147–153.
- [27] 姚利玄. 腌制萝卜工艺及黄变与脆度的关系研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2010.
- YAO LX. Studies on the technology of curing white radish and the relationship between yellowing and brittleness [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2010.
- [28] BROOMES J, BADRIE N. Effects of low-methoxyl pectin on physicochemical and sensory properties of reduced-calorie sorrel/roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) Jams [J]. Open Food Sci J, 2010, 4(1): 48–55.
- [29] 余兴莲, 王丽, 徐伟民. 纤维素酶降解纤维素机理的研究进展[J]. 宁波大学学报(理工版), 2007, (1): 78–82.
- YU XL, WANG L, XU WM. Progress in the studies of cellulose degradation by cellulase [J]. J Ningbo Univ (Nat Sci Eng Ed), 2007, (1): 78–82.
- [30] 龙秀田. 腌渍蔬菜的保绿和保脆研究[J]. 食品与发酵科技, 2010, 46(5): 53–57.

LONG XT. Research on green and crispness keeping of pickled vegetables [J]. Food Ferment Technol, 2010, 46(5): 53–57.

(责任编辑: 郑 丽 于梦娇)

作者简介



张 灿, 硕士研究生, 主要研究方向为食品加工理论及工程化技术。
E-mail: 896637855@qq.com



王金华, 硕士, 正高级实验师, 主要研究方向为果蔬精深加工、食品营养与安全。
E-mail: 292723451@qq.com