

抗冻剂对速冻南瓜泥品质影响及其机理探究

Effect of cryoprotectant on the quality of quick-frozen pumpkin puree and its mechanism

杨丹璐¹ 施 依¹ 吴金鸿¹ 葛 宇² 李向红³ 汪少芸⁴

YANG Dan-lu¹ SHI Yi¹ WU Jin-hong¹ GE Yu² LI Xiang-hong³ WANG Shao-yun⁴

(1. 上海交通大学农业与生物学院食品科学与工程专业, 上海 200240;

2. 上海市质量监督检验技术研究院, 上海 200233; 3. 长沙理工大学化学与食品

工程学院, 湖南 长沙 410114; 4. 福州大学生物科学与工程学院, 福建 福州 350108)

(1. Department of Food Science and Engineering, School of Agriculture and Biology, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China; 2. Shanghai Institute of Quality Inspection and Technical Research, Shanghai 200233, China; 3. School of Chemistry and Food Engineering, Changsha University of Science and Technology, Changsha, Hunan 410114, China; 4. College of Biological Science and Engineering, Fuzhou University, Fuzhou, Fujian 350108, China)

摘要:为研究果胶、胶原肽及海藻糖组成的新型复配抗冻剂对速冻南瓜泥品质的影响并探究其机理,以析水率、粒径、Zeta 电位值表征产品稳定性,采用质构特性、色度、可溶性固形物含量评价产品品质,并结合扫描电子显微镜与激光扫描共聚焦显微镜观察样品微观结构。结果显示,抗冻剂可显著减缓冻藏过程中速冻南瓜泥的析水率、平均粒径的升高趋势,以及 L^* 、 a^* 、 b^* 、硬度、内聚性、可溶性固形物含量、Zeta 电位绝对值的降低趋势,并且能够有效保护速冻南瓜泥的超微结构,使大分子分布均匀。

关键词:南瓜泥;抗冻剂;速冻;胶原肽

Abstract: In order to evaluate the effect of novel cryoprotectants composed of pectin, collagen peptide and trehalose on the quality of quick-frozen pumpkin puree and relative mechanism, the stability of the pumpkin puree was characterized by the water separation proportion, average particle size and Zeta potential value, and the product quality was evaluated by texture properties, color and total soluble solid content. Scanning electron microscope (SEM) and laser scanning confocal microscope (CLSM) were also used to observe the microstructure of the sample. The results showed that the cryoprotectants could significantly slow down the

increase tendency in WSP and particle size, and also prevent the decrease in the L^* , a^* , b^* value, hardness, cohesiveness, total soluble solid content and Zeta potential value. The observation result of SEM and CLSM showed that cryoprotectants could effectively protect the microstructure of quick-frozen pumpkin puree and reduce the degree of particle aggregation. The findings of this study provide theoretical guidance for the development of pumpkin puree frozen prepared food.

Keywords: pumpkin puree; cryoprotectant; quick-frozen; collagen peptide

南瓜是一种葫芦科植物,被认为是类胡萝卜素、抗坏血酸的极好来源,其分别是维生素 A 和维生素 C 的前体物质。同时南瓜还是维生素 E、钾离子、钙离子、膳食纤维、氨基酸和酚类化合物的良好来源^[1],并具有低钠、低脂、低卡路里的特点^[2-3]。国内外已有许多研究^[4-6]表明南瓜具有抗氧化、抗炎、抗菌、抗肿瘤、降血糖、降血脂等作用,能够有效减少糖尿病、癌症、心血管疾病等高危疾病的患病风险,是一种极具开发价值的植物。但是目前主要的消费形式仍是作为新鲜蔬菜食用,存在易腐烂、难运输、季节性等问题,而开发南瓜深加工产品可以很好地解决这些问题。

在中国,常见的南瓜深加工产品及研究主要集中在南瓜粉、南瓜饼、南瓜脯、南瓜汁及南瓜饮料等^[7],而对南瓜泥的研究相对较为少见。国外已有研究^[8]显示南瓜泥可以保留大部分南瓜原有的风味和营养价值,并且除直接食用外,还能够作为中间产物进一步生产其他产品,极

基金项目:上海市“科技创新行动计划”国内科技合作领域项目(编号:19395800500);国家自然科学基金面上项目(编号:31972017)

作者简介:杨丹璐,女,上海交通大学在读硕士研究生。

通信作者:吴金鸿(1978—),女,上海交通大学副研究员,博士。

E-mail: wujinhong@sjtu.edu.cn

收稿日期:2020-11-08

具开发前景。由于含水量高、酸度低,南瓜泥在贮藏过程中极易受到微生物影响而发生变质,采用热处理、超高压等方式进行灭菌处理可以减少其变质,但会造成较大的营养损失^[9-10]。冻藏是保存南瓜泥营养品质较好的一种加工方式,已有关于南瓜辣椒复配果酱^[11]、鳄梨泥^[12]等冷冻贮藏的研究,但未见关于冷冻过程南瓜泥品质调控的研究报道。

南瓜泥是一种不均一的两相体系,稳定性较差,因此在冻融及冻藏储存过程中容易出现固体收缩、水分析出现象,造成固相与液相分层,形成析水,降低南瓜泥的食品品质。研究^[13]表明,新添加抗冻剂可减弱这种不利影响。果胶、胶原肽与海藻糖已被证实具有冷冻保护作用^[14-16],在前期预试验中以析水率为指标已筛选得到一种由果胶、胶原肽、海藻糖组成的新型复配抗冻剂配方。试验拟向速冻南瓜泥中添加复配抗冻剂,研究其对速冻南瓜泥的品质和结构影响,并探究抗冻剂的冷冻保护作用机理,以期延长南瓜泥货架期并提高其冷冻稳定性。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 材料与试剂

南瓜:艾瑞吉小南瓜,上海艾妮维农产品专业合作社;

果胶:食品级,浙江博丹衡食品配料有限公司;

胶原肽:食品级,嘉利达(辽源)明胶有限公司;

海藻糖:食品级,日本林源株式会社;

试剂均为分析纯。

1.1.2 主要仪器设备

料理一体机:UM 130 型,德国 Stephan 公司;

纳米粒度 zeta 电位仪:NanoBrook Omni 型,美国布鲁克海文仪器公司;

质构仪:Universal TA 型,上海腾拔仪器科技有限公司;

色差仪:Labscan XE 型,美国 HunterLab 公司;

扫描电子显微镜:Sirion 200 型,美国 FEI 公司;

激光共聚焦显微镜:TCS SP8 STED 3X 型,德国徕卡公司。

1.2 方法

1.2.1 速冻南瓜泥制备 挑选无霉变、无机械损伤、完全成熟的南瓜作为原料,洗净,去皮,去瓢,切块。南瓜块投入料理一体机中,开启锯齿刀斩拌并加热至 95 ℃,保温 5 min 使之熟化呈泥状,投入复配抗冻剂(果胶 0.1%+胶原肽 0.2%+海藻糖 2%),加压升温至 120 ℃保持 10 min 杀菌,冷却出料。将南瓜泥分为 120 g/包,真空密封,于 (-36 ± 2) ℃速冻柜速冻 2 h, (-20 ± 2) ℃冰箱冻藏 0~4 周后,于室温解冻 2 h,进行后续试验。添加抗冻剂的速

冻南瓜泥记为试验组;以不添加抗冻剂的速冻南瓜泥作为空白对照,记为空白组。

1.2.2 速冻南瓜泥稳定性测定

(1) 析水率(water separation proportion, WSP):根据文献^[13]修改如下:取 10 g 解冻的南瓜泥样品装入离心管中(离心管质量为 m_1),称得总重为 m_2 ,6 000 r/min 离心 30 min,除去上清液,离心管与沉淀物称重为 m_3 ,结果取 3 次平行试验的平均值。按式(1)计算析水率:

$$P_{ws} = \frac{m_2 - m_3}{m_2 - m_1} \times 100\%, \quad (1)$$

式中:

P_{ws} ——析水率,%;

m_1 ——离心管质量,g;

m_2 ——离心管与南瓜泥总质量,g;

m_3 ——离心管与沉淀物总质量,g。

(2) 粒径:参照文献^[17]³⁴。

(3) Zeta 电位值:参照文献^[17]²⁶。

1.2.3 速冻南瓜泥品质测定

(1) 质构:参照文献^[18]。

(2) 色度:参照文献^[19]。

(3) 可溶性固形物含量:用手持糖度仪测定。

1.2.4 扫描电子显微镜(SEM)观察 取少量南瓜泥样品进行冷冻干燥,切取干燥的样品 $5\times 5\times 5$ mm³,喷铂后使其具有导电性,处理后的样品在 200~800 倍的放大范围内进行观察、记录和拍照。

1.2.5 激光共聚焦显微镜(CLSM)观察 使用罗丹明(浓度为 1 mg/100 g)和异硫氰酸荧光素(浓度为 10 mg/100 g)混合液作为染色剂。取 50 μL 南瓜泥滴加在载玻片上,再滴加 5 μL 染色剂,静置 10 min 使其反应,处理后的样品在荧光模式下进行观察、记录和拍照。

1.3 数据处理

应用 SPSS 21.0 对试验数据进行统计学分析,用 ANOVA 分析各组结果间的差异显著性, $P<0.05$ 表示有显著差异,结果以平均值±标准差表示。

2 结果与分析

2.1 抗冻剂对速冻南瓜泥析水率、粒径、Zeta 电位值的影响

由表 1 可知,随着冻藏时间的增加,南瓜泥析水率增加,表明固液相分离趋势增大,稳定性与品质下降。对比发现,冻藏相同时间的试验组南瓜泥析水率显著低于空白组,与 Rodriguez-Marin 等^[13]观察结果一致,冻藏过程中果泥的析水率升高,而添加冷冻保护剂将会抑制这种趋势。冻藏过程中冰晶的重结晶会导致结构损伤。果胶能够在速冻南瓜泥中形成凝胶网络固定水分子,而胶原肽与海藻糖含有大量羟基等亲水基团,可以结合体系中

表 1 抗冻剂对速冻南瓜泥析水率、粒径、Zeta 电位的影响[†]

Table 1 Influence of antifreezes on WSP, particle size and zeta potential value of quick-frozen pumpkin puree during frozen storage ($n=3$)

冻藏时 间/周	析水率/%		粒径/ μm		Zeta 电位/mV	
	空白组	试验组	空白组	试验组	空白组	试验组
0	41.37 $\pm$ 0.83 ^a	40.60 $\pm$ 0.51 ^a	104.60 $\pm$ 1.07 ^{ab}	103.77 $\pm$ 0.45 ^a	-22.45 $\pm$ 0.97 ^b	-25.25 $\pm$ 0.62 ^a
2	47.50 $\pm$ 1.06 ^c	42.87 $\pm$ 1.20 ^{ab}	106.23 $\pm$ 0.78 ^b	105.70 $\pm$ 0.78 ^b	-19.56 $\pm$ 0.50 ^c	-21.82 $\pm$ 0.65 ^d
4	50.20 $\pm$ 1.55 ^d	44.17 $\pm$ 0.82 ^b	109.60 $\pm$ 0.29 ^d	108.10 $\pm$ 0.54 ^c	-17.46 $\pm$ 0.44 ^d	-20.06 $\pm$ 0.79 ^c

[†] 同指标字母不同表示存在显著性差异($P<0.05$)。

的水与大分子,减少体系中的游离水含量,降低冻藏过程中的冰晶重结晶,改善析水现象,有效提高速冻南瓜泥稳定性。

泥酱类体系中颗粒粒径越小,颗粒的沉降速度越慢,则该体系稳定性越高。随着冻藏时间的增加,南瓜泥平均粒径有所增加,表明体系稳定性降低,原因可能是部分颗粒发生聚集沉降现象。冻藏 4 周的试验组平均粒径显著小于空白组,表明抗冻剂的添加有助于提高体系稳定性,可能是由于抗冻剂的添加提高了体系的空间位阻,使得颗粒分布更均匀,阻止颗粒聚集沉降。

表 1 显示南瓜泥体系中的 Zeta 电位为负值,说明南瓜泥颗粒带负电荷。随着冻藏时间的增加,南瓜泥 Zeta 电位绝对值下降,表示体系中颗粒间的相互排斥力减小,稳定性降低,颗粒倾向于聚集,与粒径观测结果一致。冻藏相同时间,试验组 Zeta 电位绝对值显著高于空白组,表示抗冻剂的添加能够提高体系稳定性,防止颗粒聚集。由于空间位阻、氢键与电荷是决定 Zeta 电位值大小的重要因素^{[17]30-31},抗冻剂中的果胶为阴离子多糖,带负电荷,可以与南瓜泥中的大分子结合提供负表面电荷,同时果胶碳链较长,且能够形成凝胶结构,有助于提高颗粒间的空间位阻,在颗粒间提供更高的能垒,从而增大体系中颗粒间静电排斥力,进而提高速冻南瓜泥稳定性。

2.2 抗冻剂对速冻南瓜泥色度的影响

由表 2 可知,随着冻藏时间的增加,空白组南瓜泥 L^* 值略微下降(亮度变暗),与 Gliemmo 等^[19]观察到的结果一致,主要是由于冻藏期间发生了非酶促褐变反应以及 β -胡萝卜素的氧化和异构化,而试验组南瓜泥在 4 周内未观察到显著性变化。空白组和试验组的 a^* 值

均有显著性下降,而 b^* 值有不显著的略微下降,表明南瓜泥在冻藏过程中出现红色和黄色的损失,且红色损失高于黄色,Gliemmo 等^[20]也观察到类似结果,分析这主要是由于 β -胡萝卜素具有高度不饱和结构而不稳定,发生氧化反应导致降解,进而失去颜色。同时,由表 2 还可以发现试验组的 L^* 值低于空白组, a^* 值、 b^* 值高于空白组,可能是由于添加的果胶为黄褐色粉末,同时添加海藻糖与胶原肽增加了体系中可溶性糖含量和氨基酸含量,可能会在冻藏期间加剧褐变,导致亮度更暗、颜色偏红黄。

L^* 值、 a^* 值、 b^* 值的下降导致速冻南瓜泥的 ΔE 值随着冻藏时间的增加而升高,但是有研究^[21]指出在许多产品的视觉感知中, ΔE 值 >2 才能产生显著差异,因此试验中的速冻南瓜泥冻藏 4 周期间不会产生肉眼可观察到的颜色变化。冻藏相同时间的试验组 ΔE 小于空白组,表明抗冻剂能抑制速冻南瓜泥在冻藏过程中的颜色降解程度,提高产品品质,具有冷冻保护作用。

2.3 抗冻剂对速冻南瓜泥质构、可溶性固形物含量的影响

由表 3 可知,随冻藏时间的增加,速冻南瓜泥硬度下降,可能是由于南瓜泥出现析水现象,进行相同程度的压缩所需的力更小。同时可以观察到内聚性随着冻藏时间的延长而下降,表明南瓜泥内部凝聚性下降,与硬度观测结果一致,呈现体系品质下降的趋势。对比发现,试验组南瓜泥硬度下降程度为 7.57%,小于空白组的(12.92%),冻藏相同时间的试验组内聚性显著高于空白组,表明抗冻剂的添加有利于提高南瓜泥品质稳定性。

由表 3 还可知,可溶性固形物含量随冻藏时间的增

表 2 抗冻剂对速冻南瓜泥色度的影响[†]

Table 2 Influence of antifreezes on color of quick-frozen pumpkin puree during frozen storage ($n=3$)

冻藏时 间/周	L^*		a^*		b^*		ΔE	
	空白组	试验组	空白组	试验组	空白组	试验组		
0	37.86 $\pm$ 0.68 ^c	36.66 $\pm$ 0.41 ^a	15.20 $\pm$ 0.30 ^{bc}	15.60 $\pm$ 0.16 ^c	49.56 $\pm$ 0.30 ^a	51.10 $\pm$ 0.34 ^b	—	—
2	37.67 $\pm$ 0.11 ^{bc}	36.50 $\pm$ 0.05 ^a	14.70 $\pm$ 0.08 ^a	15.20 $\pm$ 0.06 ^{bc}	49.07 $\pm$ 0.29 ^a	50.90 $\pm$ 0.27 ^b	0.73	0.48
4	36.95 $\pm$ 0.27 ^{ab}	36.19 $\pm$ 0.18 ^a	14.62 $\pm$ 0.27 ^a	15.12 $\pm$ 0.12 ^b	48.79 $\pm$ 0.13 ^a	50.79 $\pm$ 0.57 ^b	1.33	0.75

[†] 同指标字母不同表示存在显著性差异($P<0.05$)。

表 3 抗冻剂对速冻南瓜泥质构特性、可溶性固形物含量的影响[†]

Table 3 Influence of antifreezes on texture parameters and total soluble solid of quick-frozen pumpkin puree during frozen storage ($n=3$)

冻藏时 间/周	硬度/N		内聚性		可溶性固形物含量/%	
	空白组	试验组	空白组	试验组	空白组	试验组
0	0.701±0.017 ^c	0.667±0.010 ^b	0.800±0.008 ^d	0.817±0.005 ^e	12.74±0.09 ^c	13.90±0.11 ^e
2	0.660±0.012 ^b	0.646±0.012 ^b	0.753±0.005 ^c	0.767±0.012 ^c	11.38±0.21 ^b	13.38±0.13 ^d
4	0.611±0.007 ^a	0.616±0.008 ^a	0.717±0.005 ^a	0.733±0.005 ^b	10.85±0.04 ^a	12.95±0.12 ^c

[†] 同指标字母不同表示存在显著性差异($P<0.05$)。

加逐渐下降,可能是由于冻藏过程中发生褐变反应而消耗部分糖,导致总糖含量下降^[22]。冻藏相同时间的试验组可溶性固形物含量高于空白组,同时冻藏 4 周后试验组下降幅度为 6.83%,小于空白组的(15.07%),可能是因为加入海藻糖使试验组可溶性固形物含量提升,而且抗冻剂具有冷冻保护作用,减缓冻藏过程中品质下降。

2.4 SEM 观察

南瓜泥主要由细胞碎片与糖、淀粉、可溶性果胶和纤维混合在一起,悬浮于连续相中,与番茄酱类似,有研究^[23]表明番茄酱体系能形成比较松散的果胶网状物,但颗粒间作用很弱,难以从 SEM 图像上观察到明显的网状结构。如图 1 所示,南瓜泥也呈片层状交联结构,但难以观察到明显的网状结构,其中的空洞是由冰晶升华后造成的,在冻藏过程中游离水会发生结晶、重结晶而产生大的冰晶颗粒,并由此给南瓜泥结构带来不可逆的损坏,导致解冻后水分析出。空白组南瓜泥表面较粗糙,重叠在一起,不规则分布,没有连续性;冻藏 4 周后表面更为粗糙,且出现更多空洞,以及明显的断裂丝状结构,表明在冻藏过程中南瓜泥体系中产生了大冰晶,对结构造成了较大损伤。试验组南瓜泥表面相对平整光滑,体系分布较为连续;冻藏 4 周后表面变得粗糙,但是未发现明显

断裂结构,空洞较空白组少,表明冻藏对结构的损害作用较小。这可能是由于抗冻剂有亲水性基团的存在,能够加强分子与南瓜泥样品之间的结合能力,增强样品整体的稳定性。

2.5 CLSM 观察

由图 2 可知,大分子呈颗粒状分散在整个南瓜泥体系中,冻藏 0 周时颗粒较为分散,分布均匀。冻藏 4 周后,空白组南瓜泥中颗粒出现一定程度的聚集,其中出现大面积无颗粒填充的黑色空洞,可能是冻藏过程中形成的大冰晶解冻后形成,与 SEM 观察结果一致,大冰晶融化形成的空洞将对南瓜泥结构造成一定损伤。冻藏过程中由于体系中颗粒出现聚集,将导致平均粒径的增大以及沉降趋势的增大,对体系稳定性带来不利影响。试验组也观察到类似现象,冻藏 4 周出现少量聚集现象,但明显优于空白组,大分子分布仍较为均匀,表明加入抗冻剂能改善冻藏过程中的南瓜泥结构损伤,提高体系稳定性,对南瓜泥存在冷冻保护作用。

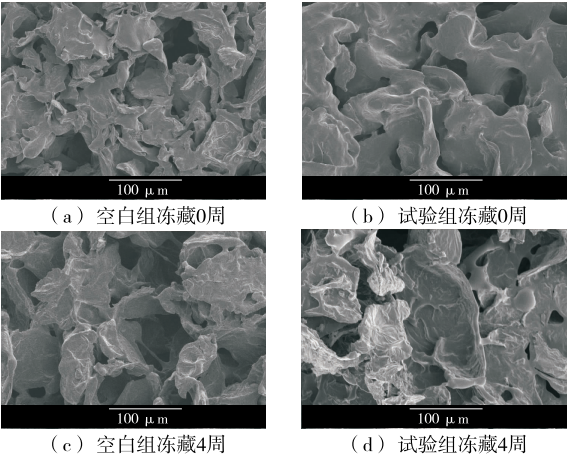


图 1 速冻南瓜泥 SEM 观察图像

Figure 1 Observation of quick-frozen pumpkin puree during frozen storage

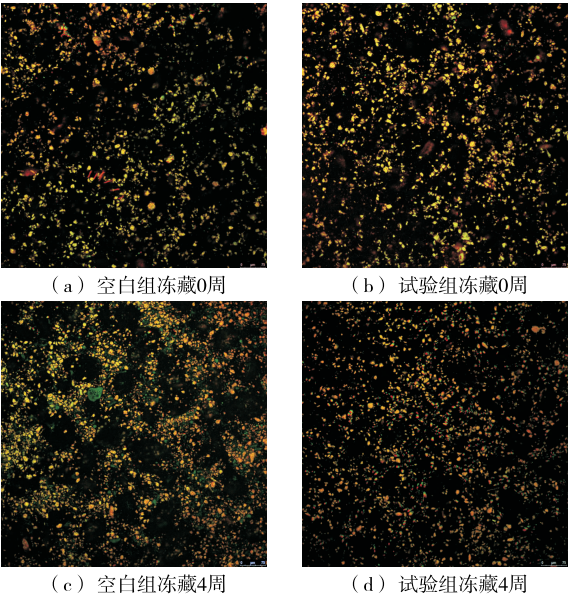


图 2 速冻南瓜泥 CLSM 观察图像

Figure 2 Observation of quick-frozen pumpkin puree during frozen storage

3 结论

通过在速冻南瓜泥中加入复配抗冻剂(果胶 0.1%+胶原肽 0.2%+海藻糖 2%),可显著提升速冻南瓜泥在冻藏过程中的稳定性并减缓品质劣化趋势,主要体现在减缓析水率、平均粒径的升高趋势以及 L^* 值、 a^* 值、 b^* 值、硬度、内聚性、可溶性固形物含量、Zeta 电位绝对值的降低趋势,并且能够有效保护速冻南瓜泥的超微结构,提高大分子分布的均匀性。综上所述,抗冻剂的添加对速冻南瓜泥的品质具有较大影响,其机理可能是通过抗冻剂的亲水基团与游离水结合,减少冻藏过程中的大冰晶对整体结构及大分子构象的破坏作用,同时通过分子间作用力与空间位阻作用提高体系内的静电排斥力,阻止颗粒聚集,提高体系稳定性,增强速冻南瓜泥品质。后续可加强有关速冻南瓜泥加工工艺以及微生物指标变化的研究。

参考文献

- [1] 冯爱青, 丁永娟, 刘爽, 等. 不同品种南瓜果实发育过程营养成分的分析[J]. 农业科技通讯, 2018(9): 152-154.
- [2] 王士苗, 智利红, 刘骏, 等. 12 个南瓜品种果实营养成分含量的测定与分析[J]. 中国瓜菜, 2018, 31(7): 13-17.
- [3] 郭言言, 郭卫丽, 孙丽, 等. 印度南瓜果实营养成分分析[J]. 北方园艺, 2017(8): 28-31.
- [4] SONG Jiang-feng, WEI Qiu-yu, WANG Xiao-ping, et al. Degradation of carotenoids in dehydrated pumpkins as affected by different storage conditions[J]. Food Research International, 2018, 107: 130-136.
- [5] 陈田, 戴思慧, 沈鹏原, 等. 裸仁南瓜籽油活性成分分析及抗氧化能力评价[J]. 食品与机械, 2018, 34(10): 152-157.
- [6] 刘颖, 梁盈, 林亲录, 等. 南瓜多糖的提取及其抗氧化活性研究进展[J]. 食品与机械, 2014, 30(3): 239-243.
- [7] 李俊星, 杨李益, 云天海. 南瓜加工品开发与利用研究进展[J]. 中国瓜菜, 2018, 31(4): 1-4.
- [8] SANTOS JR L C O, CUBAS A L V, MOECKE E H S, et al. Use of cold plasma to inactivate *Escherichia coli* and physicochemical evaluation in pumpkin puree[J]. Journal of Food Protection, 2018, 81(11): 1 897-1 905.
- [9] SANTOS J L C O, VANESSA S O, DE A J D S O, et al. Study of heat treatment in processing of pumpkin puree (*Cucurbita moschata*)[J]. Journal of Agricultural Science, 2017, 9(10): 234-243.
- [10] GARCIA-PARRA J, GONZALEZ-CEBRINO F, DELGADO J, et al. High pressure assisted thermal processing of pumpkin puree: Effect on microbial counts, color, bioactive compounds and polyphenol oxidase enzyme[J]. Food and Bioproducts Processing, 2016, 98: 124-132.
- [11] ANDREA SOSA C, CECILIA SGROPPO S, EVA BEVIL-ACQUA A. Physicochemical changes on pumpkin/pepper sauces during refrigerated storage[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2013, 37(3): 262-268.
- [12] TAN Yin-ying, JIN Ya-mei, YANG Na, et al. Influence of uniform magnetic field on physicochemical properties of freeze-thawed avocado puree[J]. RSC Advances, 2019, 9(68): 39 595-39 603.
- [13] RODRIGUEZ-MARIN N D, FIGUEROA-CHAVERRA A A, Sanchez-Jimenez M A, et al. Physicochemical and rheological properties of purees based on Mafafa (*Xanthosoma robustum*) and quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) with the addition of cryoprotectants[J]. Journal of Texture Studies, 2019, 50(2): 148-154.
- [14] ANDREY, NIKOLAYEVICH, KHUDYAKOV, et al. The effect of pectins on water crystallization pattern and integrity of cells during freezing[J]. Biopreservation and Biobanking, 2018, 17(1): 52-57.
- [15] KIM H W, MILLER D K, LEE Y J, et al. Effects of soy hull pectin and insoluble fiber on physicochemical and oxidative characteristics of fresh and frozen/thawed beef patties[J]. Meat Science, 2016, 117(6): 63-67.
- [16] 艾青, 赵莹, 曹慧, 等. 胶原抗冻肽的制备及在冷冻面团中的应用[J]. 食品与发酵工业, 2016, 42(7): 147-152.
- [17] 宋晓. 羟丙基二淀粉磷酸酯在番茄酱中作用机理的研究[D]. 济南: 齐鲁工业大学, 2013.
- [18] 代曜伊, 刘敏, 郑炯. 竹笋不溶性膳食纤维对草莓果酱流变及质构特性的影响[J]. 食品与发酵工业, 2017, 43(3): 83-88.
- [19] GLIEMMO M F, LATORRE M E, GERSCHENSON L N, et al. Color stability of pumpkin (*Cucurbita moschata*, Duchesne ex Poiret) puree during storage at room temperature: Effect of pH, potassium sorbate, ascorbic acid and packaging material[J]. LWT-Food Science and Technology, 2009, 42(1): 196-201.
- [20] GLIEMMO M F, LATORRE M E, GERSCHENSON L N, et al. Effect of sweet solutes on the quality of a pumpkin puree (*Cucurbita Moschata* Duchesne Ex Poiret) preserved by the hurdle technology[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2010, 34(6): 1 024-1 240.
- [21] CONTADOR R, GONZALEZ-CEBRINO F, GARCIA-PARRA J, et al. Effect of hydrosatatic high pressure and thermal treatments on two types of pumpkin puree and changes during refrigerated storage[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2014, 38(2): 704-712.
- [22] 封铎. 黄精酱加工工艺及品质研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2019: 37.
- [23] 房丽娜. 不同变性淀粉在番茄酱中作用机理的研究[D]. 济南: 齐鲁工业大学, 2016: 38-39.