

冷藏温度对植物基培根品质的影响

Effect of cold storage temperature on the quality of plant-based bacon

樊 炯 马骏骅 颜金鑫 张慧恩 杨 华

FAN Jiong MA Jun-hua YAN Jing-xin ZHANG Hui-en YANG Hua

(浙江万里学院生物与环境学院, 浙江 宁波 315100)

(College of Biological & Environmental Sciences, Zhejiang Wanli University, Ningbo, Zhejiang 315100, China)

摘要:目的:研究冷藏温度对植物基培根品质的影响。方法:考察冷藏温度(-40,-20,4℃)对植物基培根质构特性、蒸煮损失、水分活度、蛋白质含量、菌落总数及微观结构的影响,探索植物基培根的最佳冷藏条件。结果:冷藏期间(0~30 d),随着冷藏时间的延长,植物基培根硬度增加,蒸煮损失率增大,水分活度下降,微生物数量上升;随着冷藏温度的下降,植物基培根的结构更稳定,水分损失更少,保留的蛋白质比例更高,微生物数量降低。结论:植物基培根的最适冷藏温度为-40℃。

关键词:植物基;培根肉;贮藏品质;冷藏温度

Abstract: Objective: This study aimed to investigate the effect of cold storage temperature on the quality of plant-based bacon.

Methods: The effect of cold storage temperature (-40, -20, 4℃) on texture characteristics, cooking loss, water activity, protein content, total number of colonies and microstructure of plant-based bacon were investigated, and the optimal cold storage conditions of plant-based bacon were explored. **Results:** During the period of refrigeration (0~30 d), the hardness, cooking loss rate and number of microorganisms of plant-based bacon increased, while the water activity decreased with the extension of refrigeration time. As refrigerated temperatures dropped, the plant-based bacon became more structurally stable and lose less water, retaining a higher percentage of protein and a lower microbial population. **Conclusion:** The optimum refrigeration temperature of plant-based bacon is -40℃.

Keywords: plant-based; bacon; storage characteristic; cold storage temperature

植物基肉类是作为肉类代替品满足消费者需求和未来食品供应的可持续性而开发的产品,其市场增长预计将从 2018 年的 46 亿美元增加到 2030 年的 850 亿美元,其中 2026 年达到 309 亿美元^[1-3]。预计未来几年,植物基肉类将迎来爆炸式增长^[4-5]。植物组织蛋白会被加工成植物基肉饼、肉丸、培根片等肉制品^[6-7]。

植物蛋白基肉制品在贮藏过程中易腐败变质,而冷藏可以延长其保质期,是因为低温环境下,微生物的生长繁殖和各种由氧气、酶等共同参与的生物化学变化的速率都会减缓或被抑制^[8-9]。目前,国内外有关植物基人造肉的研究主要集中于原料配比、生产工艺和相关新产品的应用开发方面,而有关植物基肉类冷藏条件的研究较少^[10-15]。研究拟分析不同冷藏温度下植物基培根的品质变化情况,以为植物蛋白基肉制品的冷藏条件探索提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

植物基培根肉:宁波市素莲食品有限公司;
营养琼脂培养基;杭州微生物试剂有限公司;
氯化钠;分析纯,国药集团化学试剂有限公司。

1.2 主要仪器设备

双螺杆挤压膨化机:MT65-V 型,宁波素莲食品有限公司;

食品多功能拌料机:TMJX 型,诸城市鑫悦诚机械科技有限公司;

食品真空包装机:260C 型,苏州康鸣包装设备有限公司;

物性分析仪:TMS-PRO 型,美国 FTC 公司;

电子天平:FA2204B 型,欧莱博仪器有限公司;

冷场高分辨扫描电镜:SEM-7 型,日本 Hitachi 公司;

数显恒温水浴锅:HH-4 型,国华常州仪器制造有限公司;

水分活度测试仪:HD-3A 型,锡德恩斯设备有限

基金项目:浙江省重点研发计划项目(编号:2020C02042);宁波市公益项目(编号:202002N3092);宁波市公益类科技计划项目(编号:2022S149);鄞州区农业科技项目(编号:2015-96 号)

作者简介:樊炯,男,浙江万里学院在读硕士研究生。

通信作者:杨华(1978—),男,浙江万里学院教授,博士。

E-mail: yanghua@zwwu.edu.cn

收稿日期:2022-12-13 **改回日期:**2023-04-21

公司；

智能恒温恒湿培养箱:LHS-450SC 型,宁波赛福实验仪器有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 原料预处理 参考葛鑫禹等^[16]的方法对植物基培根进行巴氏杀菌(85 ℃、30 min);用高温蒸煮袋进行真空独立包装,分别于-40,-20,4 ℃冷藏 30 d,每隔 5 d 取样进行测定。

1.3.2 质构测定 将植物基培根肉切成 3 cm×3 cm×0.8 cm 的小块,选用 P50 柱形探头测定植物基培根肉的硬度、弹性、咀嚼性,测前速度为 2 mm/s,测试速度为 1 mm/s,测后速度为 2 mm/s,形变程度为 50%,接触力为 0.1 N。每个样品重复 3 次取平均值^[17]。

1.3.3 蒸煮损失率测定 参考魏心如等^[18]的方法并修改。称取约 10 g 植物基培根样品,切成 1 cm×1 cm×1 cm 的均匀小块,于密封袋中抽真空密封。80 ℃水浴 30 min,用流动的冷水冷却 1 min 后,用滤纸吸干表面水分,称重。每个样品测 3 次取平均值^[19]。

$$C = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100\%, \quad (1)$$

式中:

C——蒸煮损失率,%;

W₁——蒸煮处理前样品质量,g;

W₂——蒸煮处理后样品质量,g。

1.3.4 水分活度测定 参考李升升等^[20]的方法。

1.3.5 蛋白质含量测定 根据 GB/T 6432—2018 的凯氏定氮法。

1.3.6 菌落总数测定 根据 GB 4789.2—2016 进行测定。

1.3.7 微观结构分析 参考金鑫等^[21]的方法。

1.4 数据处理

所有数据均以平均值±标准差表示,采用 IBM SPSS Statistics 25 软件进行显著性分析,采用 GraphPad Prism 8 软件作图。

2 结果与分析

2.1 对植物基培根质构特性的影响

2.1.1 硬度 由图 1 可知,植物基培根的硬度随冷藏时间的延长呈上升趋势,可能是由于冷藏过程中的水分迁移,以及冰晶形成与融化造成的。同一冷藏时间下,冷藏温度越低,硬度上升幅度越大。其中,-40 ℃的硬度上升幅度最小。

2.1.2 弹性 由图 2 可知,随着贮藏时间的延长,植物基培根的弹性发生不同幅度的下降,其中 4 ℃的下降幅度最大,-40 ℃的弹性损失最小,说明冷藏温度为-40 ℃时,植物基培根的弹性保存最佳。

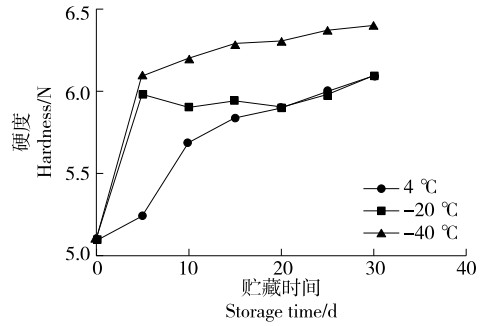


图 1 冷藏温度对植物基培根硬度的影响

Figure 1 Effects of different freezing time and temperature on the hardness of plant-based bacon

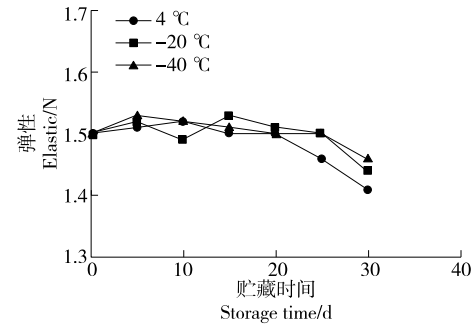


图 2 冷藏温度对植物基培根弹性的影响

Figure 2 Effects of different temperature on the elasticity of plant-based bacon

2.1.3 咀嚼性 由图 3 可知,当冷藏时间为 0~15 d 时,随着冷藏时间的延长,植物基培根的咀嚼性都有不同程度的下降。其中 4 ℃的植物基培根咀嚼性下降程度较大,推断为植物基培根中的油脂发生氧化,导致咀嚼性下降,说明 4 ℃不适合植物基培根的贮藏。

随着冷藏时间的延长,植物基培根的硬度和咀嚼度升高,弹性下降,与高扬等^[22]的结果相近,当冷藏温度为-20 ℃时,随着贮藏时间的延长,样品硬度和咀嚼性呈缓慢升高趋势,弹性呈缓慢下降趋势。这是因为样品中的部分水分会随着贮藏时间的增加发生缓慢迁移,随着样

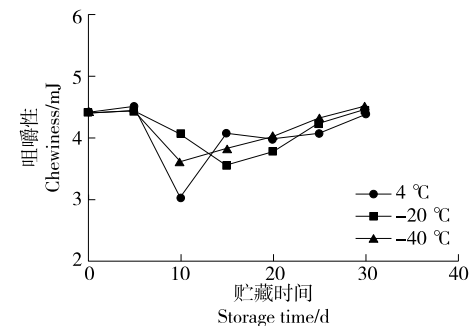


图 3 冷藏温度对植物基培根咀嚼性的影响

Figure 3 Effects of different temperature on chewability of plant-based bacon

品中水分不断减少,蛋白的凝胶强度增加,硬度和咀嚼度升高,弹性下降。综上,-40℃冷藏可以更好地维持样品原有的结构。

2.2 对植物基培根蒸煮损失率的影响

由图4可知,随着冷藏时间的延长,植物基培根的蒸煮损失率呈升高趋势,是因为随着冷藏时间的延长,大豆纤维蛋白降解程度逐渐增大,冷藏温度越低,大豆纤维蛋白降解越慢。冷藏温度越低,植物基培根的蒸煮损失率越小,说明低温有助于减小蒸煮损失。

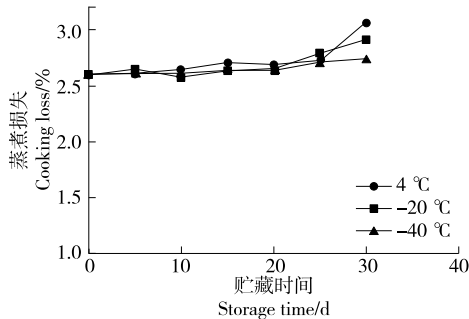


图4 冷藏温度对植物基培根蒸煮损失的影响

Figure 4 Effects of different temperature on cooking loss of plant-based bacon

2.3 对植物基培根水分活度的影响

由图5可知,冷藏第5天,4℃下的样品水分活度下降,-20℃下的上升,-40℃下的几乎未发生改变;冷藏第30天,-40℃下的样品水分活度影响最小。4℃下的水分活度下降,可能是样品发生干耗,纤维中的水分减少;-20℃下的水分活度上升,可能是由于组织蛋白吸收了冷凝水。综上,当冷藏温度为-40℃时,植物基培根中的水分活度变化最小。

2.4 对植物基培根蛋白质含量的影响

由图6可知,贮藏期间,植物基培根的蛋白质含量发生显著变化,贮藏第30天,蛋白质含量显著下降,其中4℃下的蛋白质损失最大,-40℃下的次之,可能是更低的温度导致蛋白质的结构被破坏,而-20℃下的蛋白质损失含量相对最小。

2.5 对植物基培根肉菌落总数的影响

由表1可知,4℃下的菌落总数最高,贮藏第0天就

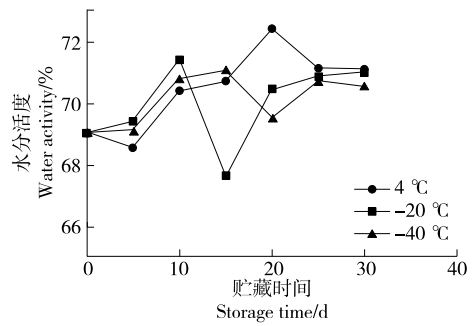


图5 冷藏温度对植物基培根水分活度的影响

Figure 5 Effects of different temperature on water activity of plant-based bacon

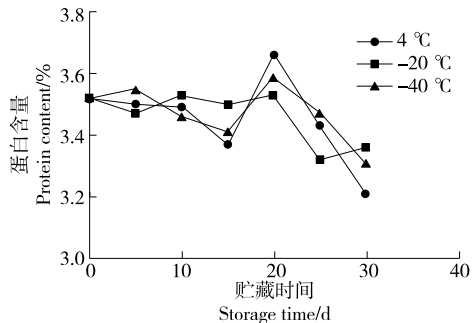


图6 冷藏温度对植物基培根蛋白含量的影响

Figure 6 Effects of different temperature on the content of plant basic plant-based bacon

有菌落出现,贮藏第2天的菌落总数已超过GB 4789.2—2016的超标值(10^5 CFU/g)。随着贮藏时间的延长,冷藏温度越低,植物基培根中的菌落总数越少。

2.6 植物基培根肉的微观结构

由图7可知,随着冷藏温度的下降,样品的致密度明显降低,其中气腔变大且更加分散,纤维状组织结构致密程度从高到低为4℃>-20℃>-40℃。-20,-40℃下的样品表面微观结构略有损坏,表面粗糙且有不规则孔洞,可能是随着冷藏温度的下降,蛋白结构被破坏,从而导致植物基培根肉的粗糙程度增加^[2]。

3 结论

研究表明,贮藏30d后,-40℃下的植物基培根的硬度、弹性、咀嚼性显著优于4℃和-20℃下的,同时较

表1 冷藏温度对植物基培根菌落总数的影响[†]

Table 1 Effects of different temperatures on the total number of bacterial colonies in plant-based bacon

温度/℃	贮藏时间				
	0 d	1 d	2 d	3 d	4 d
4	$8 \times 10^2 \pm 50^b$	$7 \times 10^3 \pm 200^b$	$2.40 \times 10^5 \pm 6\ 538^a$	多不可计	多不可计
-20	0	0	$1.24 \times 10^4 \pm 872^c$	$6.00 \times 10^4 \pm 2\ 000^b$	$6.75 \times 10^5 \pm 7\ 024^a$
-40	0	0	$6.20 \times 10^3 \pm 200^c$	$3.35 \times 10^4 \pm 1\ 500^b$	$5.36 \times 10^5 \pm 1\ 135^a$

[†] 小写字母不同表示差异显著($P < 0.05$)。

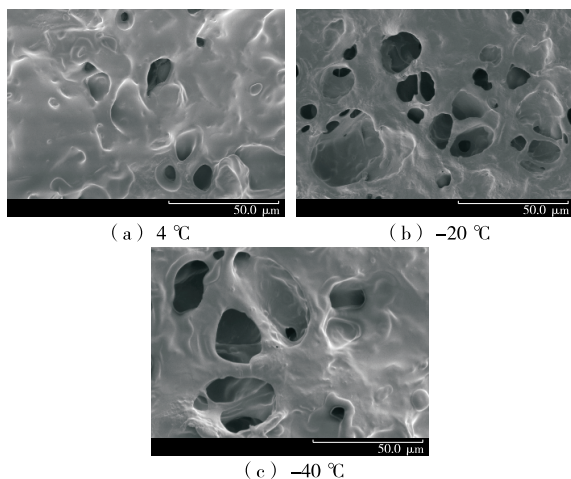


图 7 不同冷藏温度下培根样品的微观结构

Figure 7 Comparison of microstructure of bacon samples at different refrigerated temperatures

好地保存了植物基培根的品质与商业价值,说明植物基培根的最佳冷藏温度为-40℃。后续可研究植物基培根的贮藏特性等。

参考文献

[1] SHA L, XIONG Y L. Plant protein-based alternatives of reconstructed meat science, technology and challenges[J]. Trends in Food Science & Technology, 2020, 102: 51-61.

[2] 豆康宁, 赵永敢, 金少举, 等. 植物基肉制品的研究进展[J]. 食品与机械, 2022, 38(11): 230-235.

DOU K N, ZHAO Y G, JING S J, et al. Research progress of plant-based meat products[J]. Food & Machinery, 2022, 38(11): 230-235.

[3] LYNCH H, JOHNSTON C, WHARTON C. Plant-based diets: Considerations for environmental impact, protein quality, and exercise performance[J]. Nutrients, 2018, 10(12): 1-841.

[4] 董萍, 冯叙桥, 冯帆, 等. 一种大豆组织蛋白产品的市场调查分析[J]. 中国粮油学报, 2014, 29(5): 10-13.

DONG P, FENG X Q, FENG F, et al. Market analysis of a textured soy protein product[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2014, 29(5): 10-13.

[5] 张连慧, 杜昱蒙, 应欣, 等. 植物基蛋白模拟肉研制技术与发展前景展望[J]. 食品科技, 2020, 45(3): 87-92.

ZHANG L H, DU Y M, YING X, et al. Application status and trend of meat analogue made from structured vegetable protein[J]. Food Science and Technology, 2020, 45(3): 87-92.

[6] 陈锋亮, 魏益民, 张波, 等. 植物蛋白原料体系影响挤压组织化研究进展[J]. 中国粮油学报, 2012, 27(4): 110-113, 122.

CHEN F L, WEI Y M, ZHANG B, et al. Research advances in effects of vegetable protein material systems on extrusion texturization[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2012, 27(4): 110-113, 122.

[7] 史翠翠. 休闲大豆蛋白素肉保质期品质变化研究[J]. 食品安全导刊, 2022(18): 80-82.

SHI C C. Research on quality change of leisure soyabean protein vegetarian meat[J]. China Food Safety Magazine, 2022(18): 80-82.

[8] 李升升, 刘书杰. 冷藏对牦牛酸奶营养成分及挥发性物质的影响[J]. 食品与机械, 2020, 36(11): 112-117.

LI S S, LIU S J. Effects of cold storage on nutrients and volatile substances of yak yogurt[J]. Food & Machinery, 2020, 36(11): 112-117.

[9] 黄倩, 赵银峰, 周春燕, 等. 中西式加工工艺对香肠品质的影响研究[J]. 中国调味品, 2022, 47(11): 105-108.

HUANG Q, ZHAO Y F, ZHOU C Y, et al. Effects of Chinese and Western processing technologies on sausage quality [J]. China Condiment, 2022, 47(11): 105-108.

[10] 高育哲, 肖志刚, 吴清华, 等. 大豆组织蛋白素肉的产业现状及未来趋势[J]. 农产品加工, 2020(9): 78-79.

GAO Y Z, XIAO Z G, WU Q H, et al. Industry status and development tendency of meat analogue-textured soy protein[J]. Farm Products Processing, 2020(9): 78-79.

[11] 江连洲, 张鑫, 窦薇, 等. 植物基肉制品研究进展与未来挑战 [J]. 中国食品学报, 2020, 20(8): 1-10.

JIANG L Z, ZHANG X, DOU W, et al. Advance and challenges in plant-based meat[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2020, 20(8): 1-10.

[12] 曾艳, 郝学财, 董婷, 等. 植物蛋白肉的原料开发、加工工艺与质构营养特性研究进展[J]. 食品工业科技, 2021, 42(3): 338-345, 350.

ZENG Y, HAO X C, DONG T, et al. Research progress on raw material development, processing technology and nutritional properties of plant based meat[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(3): 338-345, 350.

[13] 郭顺堂, 徐婧婷, 刘欣然, 等. 我国植物蛋白资源高效利用途径与技术创新[J]. 食品科学技术学报, 2019, 37(6): 8-15.

GUO S T, XU J T, LIU X R, et al. Efficient utilization and technological innovation of plant-based protein resources in China [J]. Journal of Food Science and Technology, 2019, 37(6): 8-15.

[14] CRAIG W J, MANGELS A R, FRESÁN U, et al. The safe and effective use of plant-based diets with guidelines for health professionals[J]. Nutrients, 2021, 13(11): 4-144.

[15] SATIJA H. Plant-based diets and cardiovascular health[J]. Trends Cardiovasc Med, 2018, 28(7): 437-441.

[16] 葛鑫禹, 刘永峰, 杨广东, 等. 陕北炖羊肉杀菌方式的比较及产品货架期预测[J]. 中国食品学报, 2022, 22(7): 214-225.

GE X Y, LIU Y F, YANG G D, et al. Comparison of sterilization methods of stewed mutton in northern Shaanxi and prediction of shelf life [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2022, 22(7): 214-225.

[17] 唐善虎, 王柳, 余小贞, 等. 添加不同用量花生仁粉的重组牦牛肉饼的理化和感官特性研究[J]. 食品科学, 2010, 31(19): 174-178.

TANG S H, WANG L, YU X Z, et al. Meat patties with different amounts of added peanut powder[J]. Food Science, 2010, 31(19): 174-178.

(下转第 131 页)

- for non-alcoholic fatty liver disease in mice[J]. Journal of Chengdu University of Traditional Chinese Medicine, 2017, 40(4): 33-36.
- [7] TAO W L, YUE X, YE R L, et al. Hepatoprotective effect of the *Penthorum chinense* Pursh extract against the CCl_4 -induced acute liver injury via NF- κ B and p38-MAPK pathways in dogs [J]. *Animals*, 2022, 12(5): 569-569.
- [8] 朱一伦, 李芄, 张大永, 等. 赶黄草营养成分及活性成分分析[J]. 食品工业, 2017, 38(7): 175-179.
- ZHU Y L, LI P, ZHANG D Y, et al. Analysis of nutritional components and active ingredient of *Penthorum chinense* Pursh[J]. *The Food Industry*, 2017, 38(7): 175-179.
- [9] 王星月, 杨潇然, 张紫涵, 等. 赶黄草叶茶制备工艺及其对风味、功效成分溶出的影响[J]. 中国食品学报, 2022, 22(2): 241-252.
- WANG X Y, YANG X R, ZHANG Z H, et al. *Penthorum chinense* Pursh leaf tea preparation technology and its influence on flavor and functional ingredients dissolution [J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2022, 22(2): 241-252.
- [10] DILANKA F C, PREETHI S. Extraction kinetics of phytochemicals and antioxidant activity during black tea (*Camellia sinensis* L.) brewing [J]. *Nutrition Journal*, 2015, 14(1): 74.
- [11] 黄明军, 杨新河, 覃彩芹, 等. 青砖茶 4 种品质成分溶出动力学研究[J]. 湖北工程学院学报, 2016, 36(6): 37-41.
- HUANG M J, YANG X H, QIN C Q, et al. Study on the digestion kinetics of four quality components in the Qingzhuang brick tea[J]. *Journal of Hubei Engineering University*, 2016, 36(6): 37-41.
- [12] 陈亮, 余佶, 游湘海, 等. 冲泡条件对湘西黄金茶生物活性成分及其抗氧化活性的影响[J]. 食品与机械, 2019, 35(8): 183-188.
- CHEN L, YU J, YOU X T, et al. Effect of brewing conditions on bioactive compounds of Xiangxi golden tea and its antioxidant activity[J]. *Food & Machinery*, 2019, 35(8): 183-188.
- [13] 亢振, 柳春娣, 刘晓燕, 等. HPLC 法同时测定赶黄草中槲皮素、山柰酚及乔松素含量[J]. 国际中医中药杂志, 2019(8): 863-866.
- KANG Z, LIU C D, LIU X Y, et al. Simultaneous determination of three compounds in *Penthorum chinense* Pursh by HPLC [J]. *International Journal of Traditional Chinese Medicine*, 2019(8): 863-866.
- [14] 余昕, 朱烨, 向芬, 等. 不同采收期赶黄草中总黄酮的含量测定[J]. 泸州医学院学报, 2010, 33(4): 370-372.
- YU X, ZHU Y, XIANG F, et al. Determination of total flavones of *Penthorum* at different harvest time[J]. *Journal of Luzhou Medical University*, 2010, 33(4): 370-372.
- [15] 石慧霞. 槲皮素等几种黄酮类化合物的结构性质研究[D]. 成都: 四川大学, 2007: 33-35.
- SHI H X. Study on the structures and properties of quercetin and some other flavonoids [D]. Chengdu: Sichuan University, 2007: 33-35.
- [16] 张娇娇. 槲叶中槲皮素水热法提取工艺的优化研究[D]. 郑州: 郑州大学, 2020: 27-37.
- ZHANG J J. Optimization of hydrothermal extraction process of quercetin from mistletoe leaves [D]. Zhengzhou: Zhengzhou University, 2020: 27-37.
- [17] 王雅琪, 兰继平, 伍振峰, 等. 板蓝根多糖及总氨基酸热稳定性及不同提取方式影响分析[J]. 江西中医药大学学报, 2016, 28(1): 60-63.
- WANG Y Q, LAN J P, WU Z F, et al. Study on heat stability of polysaccharides and total amino acids from *radix isatis* by different extraction technology[J]. *Journal of Jiangxi University of Chinese Medicine*, 2016, 28(1): 60-63.
- [18] 单治国, 张春花, 满红平, 等. 冲泡条件对不同等级普洱熟茶氨基酸溶出量的影响[J]. 茶叶通讯, 2022, 49(2): 240-244.
- SHAN Z G, ZHANG C H, MAN H P, et al. Effects of different brewing conditions on the dissolution of amino acid in Pu'er ripe tea[J]. *Journal of Tea Communication*, 2022, 49(2): 240-244.

(上接第 118 页)

- [18] 魏心如, 韩敏义, 王鹏, 等. 热处理对鸡胸肉剪切力与蒸煮损失的影响[J]. 江苏农业学报, 2014, 30(3): 629-633.
- WEI X R, HAN M Y, WANG P, et al. Effect of pretreatment conditions on Warner-Bratzler shear force and cooking loss of chicken breast[J]. *Jiangsu Journal of Agricultural Sciences*, 2014, 30(3): 629-633.
- [19] 董超, 张松山, 张丽, 等. 响应面法优化儿童牦牛肉排无磷保水剂工艺[J]. 食品与发酵科技, 2018, 54(4): 25-32.
- DONG C, ZHANG S S, ZHANG L, et al. Optimization of non-phosphate water preserving compound of children's yak steak by response surface methodology[J]. *Food and Fermentation Sciences & Technology*, 2018, 54(4): 25-32.
- [20] 李升升, 靳义超. 加热介质和时间对牦牛肉品质的影响[J]. 食品与机械, 2017, 33(10): 174-178.
- LI S S, JIN Y C. Effect of heating medium and time on the quality of yak meat[J]. *Food & Machinery*, 2017, 33(10): 174-178.
- [21] 金鑫, 刘少伟, 高邈宸, 等. 豌豆蛋白双螺杆挤压参数对其停留时间分布的影响[J]. 食品科技, 2021, 46(7): 74-80.
- JIN X, LIU S W, GAO Y C, et al. Effect of extrusion parameters on the residence time distribution of pea protein during twin-screw extrusion process[J]. *Food Science and Technology*, 2021, 46(7): 74-80.
- [22] 高扬, 管立军, 李家磊, 等. 高水分挤压纤维化蛋白不同储藏方式对品质特性的影响[J]. 中国粮油学报, 2021, 36(9): 151-156.
- GAO Y, GUAN L J, LI J L, et al. Effect of storage method on the quality characteristics of high moisture extrusion textured vegetable protein [J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2021, 36(9): 151-156.