DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20251016007
引用格式: 胡小英, 王德松, 宋思园, 等. 蓝莓沙苑红萝卜酱的加工工艺优化及营养分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2026, 17(3): 137–145.
HU XY, WANG DS, SONG SY, *et al*. Optimization of processing techniques and nutritional analysis of *Vaccinium* and Shayuan-*Daucus carota* sauce [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2026, 17(3): 137–145. (in Chinese with English abstract).

蓝莓沙苑红萝卜酱的加工工艺优化及营养分析

胡小英[1], 王德松[1], 宋思园[1], 庞佳柔[1], 耿永胜[2], 蒋　宝[3*]

(1. 渭南职业技术学院医学院, 渭南　714026; 2. 大荔县荔盛农业发展有限公司, 大荔　715100;
3. 渭南职业技术学院农林科技学院, 渭南　714026)

摘　要: 目的　优化蓝莓沙苑红萝卜酱的加工工艺, 开发陕西渭南沙苑红萝卜的深加工产品。**方法**　以沙苑红萝卜、蓝莓等天然材料为原料, 采用单因素试验和正交试验, 以感官评价为响应值, 优化蓝莓沙苑红萝卜酱的加工工艺, 并进行营养成分分析。**结果**　蜂蜜添加量对蓝莓沙苑红萝卜酱的影响最显著(P<0.05), 其次是沙苑红萝卜与蓝莓的配比。最佳工艺: 沙苑红萝卜与蓝莓的配比为 2:1 (m:m), 柠檬汁、蜂蜜和土豆淀粉的添加量分别为 3.5%、9.0%、1.0%(基于红萝卜与蓝莓的总量)。营养成分分析结果表明蓝莓沙苑红萝卜酱含蛋白质、脂肪酸、维生素 A、胡萝卜素以及钾、钠、铁等矿物质, 其中含 β-胡萝卜素约 777.25 μg/100 g, 含铁约 46.93 mg/kg(约为鲜红萝卜的 27 倍), 不含脂肪和蔗糖。**结论**　本研究优化的加工工艺可以制备出具有较高营养价值的蓝莓沙苑红萝卜酱, 并且不添加化学添加剂。本研究将为陕西渭南沙苑红萝卜的附加值的提升和产业的发展提供理论依据。

关键词: 沙苑红萝卜; 蓝莓沙苑红萝卜酱; 加工工艺

Optimization of processing techniques and nutritional analysis of *Vaccinium* and Shayuan-*Daucus carota* sauce

HU Xiao-Ying[1], WANG De-Song[1], SONG Si-Yuan[1], PANG Jia-Rou[1],
GENG Yong-Sheng[2], JIANG Bao[3*]

(1. *School of Medicine*, *Weinan Vocational and Technical College*, *Weinan* 714026, *China*; 2. *Dali County Lisheng Agricultural Development Co*., *Ltd*., *Dali* 715100, *China*; 3. *School of Agriculture and Forestry Science and Technology*, *Weinan Vocational and Technical College*, *Weinan* 714026, *China*)

ABSTRACT: Objective　To optimize the processing techniques of *Vaccinium* and Shayuan-*Daucus carota* sauce, and develop value-added products of Shaanxi Province Weinan Shayuan-*Daucus carota*. **Methods**　Natural materials such as Shayuan-*Daucus carota* and *Vaccinium* were used as raw materials. Single factor experiments and orthogonal experiments were adopted to optimize the processing techniques of *Vaccinium* and Shayuan-*Daucus*

收稿日期: 2025-10-16
基金项目: 渭南市科技计划项目(2024ZDYFJH-780); 渭南职业技术学院青年科技创新团队项目(WZYQNKJTD202306, WZYQNKJTD202302)
第一作者: 胡小英(1984—), 女, 博士, 讲师, 主要研究方向为食品营养及加工。E-mail: huxiaoying1127@163.com
***通信作者:** 蒋宝(1981—), 男, 博士, 教授, 主要研究方向为农产品食品加工与质量检测。E-mail: treebaojiang@163.com

carota sauce, with the sensory evaluation as the response value. Additionally, a nutritional composition analysis was performed. **Results** The addition of honey had the most significant impact on the *Vaccinium* and Shayuan-*Daucus carota* sauce (P<0.05), followed by the ratio of Shayuan-*Daucus carota* to *Vaccinium*. The optimal process was as follows: The ratio of Shayuan-*Daucus carota* to *Vaccinium* was 2:1 (*m*:*m*); the addition levels of lemon juice, honey and potato starch were 3.5%, 9.0% and 1.0%, respectively, based on the total mass of Shayuan-*Daucus carota* and *Vaccinium*. The nutritional analysis results showed that the *Vaccinium* and Shayuan-*Daucus carota* sauce was rich in protein, fatty acids, vitamin A, carotene, as well as minerals such as potassium, sodium and iron. The 777.25 μg/100 g of *β*-carotene and 46.93 mg/kg of iron (27 times more iron than in fresh Shayuan-*Daucus carota*) were detected in the sauce. However, neither fat nor sucrose was detected. **Conclusion** The optimized processing technology developed in this study can yield *Vaccinium* and Shayuan-*Daucus carota* sauce with high nutritional content and free from chemical additives. The research will lay a solid theoretical foundation for the enhancement of added value and the promotion of industrial development of Shayuan-*Daucus carota* in Weinan, Shaanxi Province.

KEY WORDS: Shayuan-*Daucus carota*; *Vaccinium* and Shayuan-*Daucus carota* sauce; processing techniques

0 引 言

胡萝卜(*Daucus carota* var. *sativus*)和蓝莓(*Vaccinium*)是果蔬酱的理想原料。胡萝卜富含胡萝卜素、维生素、槲皮素、山萘酚、多糖等多种成分, 具有抗氧化、明目、抗炎、抗肿瘤、调节血脂、预防心血管疾病等活性[1–5]。由于其高营养价值, 胡萝卜被开发成脆片[6]、果酱[7–8]、胡萝卜汁[9–10]、面条[11–12]等功能性食品。关于胡萝卜的热处理也有较多研究。吕美琳等[13]研究发现 90 ℃热处理 10 min 后, 胡萝卜中引起褐变和营养素损失的过氧化物酶(peroxidase, POD)的活性降低到 5%以下, 同时还能增加胡萝卜的风味物质。张海涛等[14]研究表明 90 ℃热烫 6 min 后胡萝卜中的 *β*-胡萝卜素保存率为 87.10%。被誉为“浆果之王”的蓝莓具有较高的营养价值和丰富的保健功能。蓝莓含有维生素 A、超氧化物歧化酶、花青素等多种营养成分, 具有抗氧化、保护视力、保护血管等作用[15–18]。因此, 蓝莓被深加工成果汁[19–20]、果醋[21]、果泥[22]、果酱[23]、酒[24]等多种产品[25]。

已有以胡萝卜和蓝莓为原料的果酱的相关研究。迟恩忠等[26]以胡萝卜和蓝莓为主要原料优化了复合果酱的工艺, 得到的最佳工艺为: 蓝莓与胡萝卜质量比 8:2, 果胶、柠檬酸、白砂糖的添加量分别为 0.4%、0.18%、38%。楚文靖等[27]用响应面法优化得到了蓝莓胡萝卜果蔬酱的最佳工艺: 蓝莓与胡萝卜质量比 4:3、白砂糖添加量 25%、柠檬酸添加量 0.4%及卡拉胶添加量 0.4%。时志军等[28]研制了以蓝莓果渣和胡萝卜为主要原料的果酱, 其中添加了海藻酸钠、卡拉胶、黄原胶、柠檬酸和赤藓糖醇(8%)。这些研究均以普通胡萝卜为原料, 且未对胡萝卜酱进行营养分析。

沙苑红萝卜有较高的营养价值, 但缺乏产品的深加工研究。沙苑红萝卜产自于陕西省渭南市大荔县沙苑, 有“小人参”的称号, 是中国农产品地理标志产品, 也是渭南市农业支柱产业之一。得益于当地独特的沙质土壤、充足光照和昼夜温差, 沙苑红萝卜具有色泽鲜红、肉质脆甜、营养富集等特性。沙苑红萝卜富含 *β*-胡萝卜素、维生素 C 及钾、钙等矿物质, 其中 *β*-胡萝卜素不低于 0.85 mg/100 g、可溶性糖不低于 5.6 g/100 g、铁不低于 1.8 mg/kg[29]。2024 年沙苑红萝卜种植面积达 15 万亩, 年产量达 37.5 万 t。当前沙苑红萝卜面临的主要问题是产品形态单一, 90%以上以新鲜蔬菜销往国内市场和加拿大、乌兹别克斯坦等国际市场, 产品附加值较低, 因此急需开发沙苑红萝卜的深加工产品, 发挥其营养价值优势, 提高沙苑红萝卜的附加值。

随着国民生活水平的提高和消费理念的转变, 安全无污染的绿色食品越来越受到人们的青睐。为突破陕西渭南沙苑红萝卜产业缺少深加工产品的困境, 提高沙苑红萝卜的产品附加值, 本研究以蓝莓和渭南地区的沙苑红萝卜为主要原料, 添加蜂蜜、柠檬汁和土豆淀粉等天然材料, 不添加化学添加剂, 优化蓝莓沙苑红萝卜酱的加工工艺, 研制高营养价值的沙苑红萝卜深加工产品, 助力渭南地区沙苑红萝卜产业的发展。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

沙苑红萝卜(产地: 陕西省渭南市大荔县)、蓝莓(产地: 云南)、柠檬、蜂蜜和土豆淀粉均采购于渭南鲜蜂生活超市(时代新城店)。

海砂、甲基红、溴甲酚绿(国药集团化学试剂上海有限公司); 硫酸铜、硫酸钾、硼酸(分析纯, 天津市鑫博特化工有限公司); 硫酸、无水乙醚、石油醚(分析纯, 四川西陇科学有限公司); 氢氧化钠(分析纯, 天津市科密欧化学试剂有限公司); 95%乙醇、乙酸镁(分析纯, 天津市大茂化学试剂厂)。

1.2　仪器与设备

TD50002A 电子天平(精度为 0.01 g, 上海力辰邦西仪器科技有限公司); SPJ617R SUPOR 搅拌机(浙江苏泊尔股份有限公司); C21-ST2107 美的电磁炉(广东美的生活电器制造有限公司); SW-LB80T 手持折光仪(广州市速为电子科技有限公司); BV132 真空封口机(广东邦泽创科电器股份有限公司)。

1.3　实验方法

1.3.1　加工工艺

蓝莓沙苑红萝卜酱的制作工艺流程见图 1。

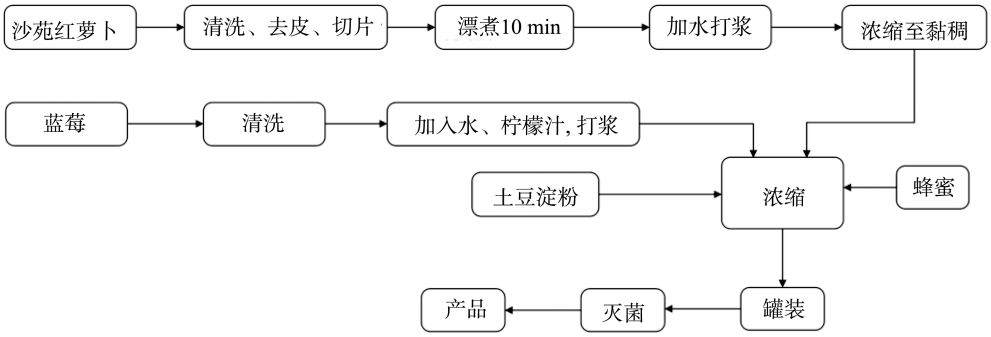


图 1　蓝莓沙苑红萝卜酱的加工工艺

Fig.1　Processing techniques of *Vaccinium* and Shayuan-*Daucus carota* sauce

沙苑红萝卜和蓝莓的前处理如下: 切除红萝卜头部和尾须部, 漂煮 10 min, 以打出细腻的红萝卜浆。蓝莓在打浆时, 加入柠檬汁(通过新鲜柠檬物理压榨而成), 以保护蓝莓浆的颜色。

浓缩过程如下: 为了减少蓝莓中热敏性物质的流失, 减少蓝莓的加热时间, 先将红萝卜浆加热浓缩至黏稠, 再加入蓝莓浆并继续浓缩致终点。浓缩过程中需不断搅拌, 防止酱体焦糊。

1.3.2　感官评价标准

感官评价方法已被广泛应用于新食品的开发[30]。根据 GB/T 10786—2022《罐头食品的检验方法》, 从蓝莓沙苑红萝卜酱的组织形态、口感、香味和色泽 4 个方面制定了蓝莓沙苑红萝卜酱的感官评价标准, 满分 100 分, 见表 1。邀请 11 名符合标准要求的感官评价专家进行品鉴, 对不同配方的蓝莓沙苑红萝卜酱进行感官评价。

表 1　感官评价标准

Table 1　Standard of sensory evaluation

评分项目	评分标准	得分/分
组织形态 (30 分)	无糖水析出, 均匀不流散	20~30
	少量糖水析出, 轻微流散	10~19
	较多糖水析出, 流散	1~9
口感 (30 分)	酸甜适口	20~30
	偏酸或偏甜	10~19
	酸甜不合理	1~9
香味 (20 分)	香味浓郁	17~20
	香味较浓郁	13~16
	香味不明显	1~12
色泽 (20 分)	色泽好, 富有光泽	17~20
	色泽差, 略有光泽	13~16
	色发暗、发灰	1~12

1.3.3　单因素试验

利用单因素试验研究配方中各组分对蓝莓沙苑红萝卜酱的感官品质的影响。当研究一种组分对蓝莓沙苑红萝卜酱的影响时, 其他组分的添加量保持不变, 分别为沙苑红萝卜与蓝莓配比为 2.5:1 (*m*:*m*), 蜂蜜添加量 5.5%, 柠檬汁添加量 5%, 土豆淀粉添加量 1.4%。研究沙苑红萝卜与蓝莓的不同配比(1:1、1.5:1、2:1、2.5:1、3:1, *m*:*m*, 下同)、不同柠檬汁添加量(1.0%、2.5%、3.5%、5.0%、7.0%)、不同蜂蜜添加量(3.5%、5.5%、7.0%、9.0%、11.0%)、不同土豆淀粉添加量(0.7%、1.0%、1.4%、1.8%、2.2%)对蓝莓沙苑红萝卜酱的感官品质的影响。柠檬汁、蜂蜜、土豆淀粉的添加量均基于沙苑红萝卜与蓝莓的总量。

1.3.4　正交试验

单因素试验结果表明, 蓝莓沙苑红萝卜酱配方中各组分的添加量均对其感官品质有影响。因此, 根据正交试验表 $L_9(3^4)$设计正交试验方案, 正交试验的因素水平见表 2。

1.3.5　营养成分检测

蓝莓沙苑红萝卜酱的营养成分检测由第三方检测机构(陕西秦云农产品检验检测股份有限公司)完成, 各营养成分的测定均依据食品安全国家标准规定的方法进行, 具

体方法如表 3 所示。根据 GB 28050—2025《食品安全国家标准 预包装食品营养标签通则》的规定，碳水化合物的量按减法计算获得，即以每 100 g 食品减去其蛋白质、脂肪、水分和灰分的质量。每个样品平行检测 3 次，结果取平均值。

1.4 数据处理

采用 WPS Office (12.1.0.24034) 对试验所得数据进行数据分析、制表、绘图。所有试验均重复 3 次。采用极差分析和方差分析方法对正交试验结果进行数据分析。某个因素的极差(R)越大，表明其对试验结果影响越显著。方差分析中计算每个因素的 F 和 P，若 P<0.05，则认为该因素对试验结果具有显著的影响。

表 2 蓝莓沙苑红萝卜酱正交试验的因素水平表

Table 2 Factors and levels table of *Vaccinium* and Shayuan-*Daucus carota* sauce

水平	试验因素			
	A(沙苑红萝卜与蓝莓配比)(*m*:*m*)	*B*(柠檬汁添加量)/%	*C*(蜂蜜添加量)/%	*D*(土豆淀粉添加量)/%
1	1.5:1	2.5	5.5	0.7
2	2:1	3.5	7.0	1.0
3	2.5:1	5.0	9.0	1.4

表 3 蓝莓沙苑红萝卜酱的营养成分检测方法

Table 3 Detection methods of nutritional ingredient of *Vaccinium* and Shayuan-*Daucus carota* sauce

检测项目	检测方法	
	国家标准	具体方法
水分/%	GB 5009.3—2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》	直接干燥法
蛋白质/(g/100 g)	GB 5009.5—2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》	全自动凯氏定氮法
脂肪/(g/100 g)	GB 5009.6—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》	索氏抽提法
灰分/(g/100 g)	GB 5009.4—2016《食品安全国家标准 食品中灰分的测定》	第一法 总灰分测定
钙/(mg/kg)	GB 5009.92—2016《食品安全国家标准 食品中钙的测定》	第一法 火焰原子吸收法
维生素 A/(μg/100 g)	GB 5009.82—2016《食品安全国家标准 食品中维生素 A、D、E 的测定》	第一法 高效液相色谱法
铁/(mg/kg)	GB 5009.90—2016《食品安全国家标准 食品中铁的测定》	第一法 火焰原子吸收法
锌/(mg/kg)	GB 5009.14—2017《食品安全国家标准 食品中锌的测定》	第一法 火焰原子吸收法
钾/(mg/100 g)	GB 5009.91—2017《食品安全国家标准 食品中钾、钠的测定》	第一法 火焰原子吸收法
钠/(mg/100 g)		
脂肪酸总量/(g/100 g)	GB 5009.168—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪酸的测定》	外标法
抗坏血酸(维生素 C)/(mg/100 g)	GB 5009.86—2016《食品安全国家标准 食品中抗坏血酸的测定》	第一法 高效液相色谱法
葡萄糖/(g/100 g)	GB 5009.8—2023《食品安全国家标准 食品中果糖、葡萄糖、蔗糖、麦芽糖、乳糖的测定》	第一法 高效液相色谱法
果糖/(g/100 g)		
β-胡萝卜素/(μg/100 g)	GB 5009.83—2016《食品安全国家标准 食品中胡萝卜素的测定》	高效液相色谱法

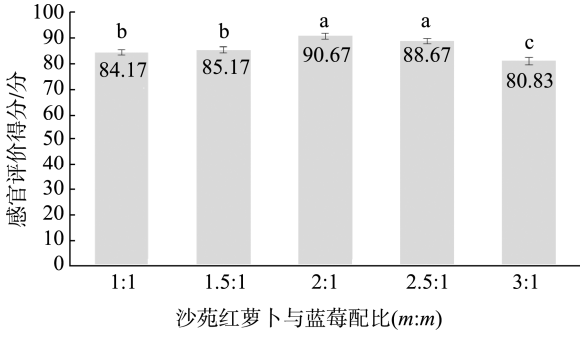
2 结果与分析

2.1 单因素试验结果

2.1.1 沙苑红萝卜与蓝莓配比对蓝莓沙苑红萝卜酱的感官品质的影响

如图 2 所示，沙苑红萝卜与蓝莓的配比对蓝莓沙苑红萝卜酱的感官品质有明显的影响。随着沙苑红萝卜与蓝莓配比的增加，果酱的感官品质呈先升高再下降的趋势。当配比为 2:1 时果酱的感官品质最好，其次是 2.5:1，并且与其他配比有显著性差异(P<0.05)。沙苑红萝卜与蓝莓的配比影响果酱的色泽、香味和口感。当配比为 1:1 和 1.5:1 时，香味和色泽较好，有较明显的沙苑红萝卜气味，且颜色偏紫；当配比为 2:1、2.5:1 和 3:1 时香味和色泽没有明显差异。蓝莓富含花青素[31]，在添加柠檬汁的条件下呈现紫红色，因此配比越小，蓝莓添加越多，酱体呈现紫色更明显。当沙苑红萝卜蓝莓配比为 2:1 时果酱的口感最好，酸甜感适

度; 当配比为 2.5:1 时果酱的口感次之; 当配比为 1.5:1 时果酱的酸甜度比例稍差; 当配比为 1:1 时, 由于添加的蓝莓量较大, 沙苑红萝卜酱的口感偏酸; 配比为 3:1 时没有明显的酸甜味, 因为添加的蓝莓量较少, 沙苑红萝卜的药腥味[32]未被明显改善。因此, 选择沙苑红萝卜蓝莓配比为 2:1、2.5:1 和 1.5:1 进行后续研究。



注: 不同字母表示具有显著性差异(P<0.05), 下图同。

图 2　沙苑红萝卜与蓝莓配比对蓝莓沙苑红萝卜酱的感官品质的影响

Fig.2　Effects of proportion of *Daucus carota* to *Vaccinium* on the sensory evaluation of *Vaccinium* and Shayuan-*Daucus carota* sauce

2.1.2　柠檬汁添加量对蓝莓沙苑红萝卜酱的感官品质的影响

柠檬汁含有柠檬酸、维生素 C、酚类等物质, 具有抑制 POD 活性、抗氧化等作用, 可以用于食品的酸甜味调节、防腐、抗氧化等[33–35]。如图 3 所示, 柠檬汁添加量在 1.0%~5.0%时果酱的感官品质随柠檬汁添加量的增加而呈现升高趋势; 当添加量为 5.0%时果酱的感官品质最好, 且与其他添加量有显著性差异(P<0.05)。柠檬汁添加量主要影响果酱的色泽和口感。随着柠檬汁的增加, 沙苑红萝卜酱的色泽得分增加, 颜色更鲜艳, 这可能与柠檬汁的抗氧化成分抑制 POD 活性有关[35]。当柠檬汁的添加量在 1.0%~5.0%时, 果酱的口感得分随着柠檬汁添加量的增加而增加; 但是当柠檬汁的添加量为 7.0%时, 沙苑红萝卜酱的酸味偏重, 口感变差。虽然柠檬汁添加量为 7.0%和 2.5%时果酱的感官品质无显著性差异, 但是因添加量为 7.0%时口感偏酸, 所以不选择该添加量用于后续研究。所以选择柠檬汁添加量为 2.5%、3.5%和 5.0%用于进一步的研究。

2.1.3　蜂蜜添加量对蓝莓沙苑红萝卜酱的感官品质的影响

蜂蜜含有果糖、多酚、氨基酸等活性物质, 具有抗氧化、抗菌等特性[36], 本研究将蜂蜜作为沙苑红萝卜酱的甜味剂。如图 4 所示, 蜂蜜添加量对蓝莓沙苑红萝卜酱的感官品质有较明显的影响, 主要影响果酱的口感。蜂蜜中果糖、葡萄糖、蔗糖等糖类含量约为 60%~80%[37], 因此能调节果酱的酸甜味。当蜂蜜添加量为 5.5%时沙苑红萝卜酱的口感最好, 酸甜度合适; 添加量为 7.0%和 9.0%时口感次之, 酸甜度较合适; 添加量为 3.5%时口感偏酸; 而添加量为 11.0%时口感偏甜。当蜂蜜添加量为 5.5%、7.0%和 9.0%时沙苑红萝卜酱的感官评价总分较高, 与其他添加量有显著差异(P<0.05), 所以选择蜂蜜添加量 5.5%、7.0%和 9.0%用于进一步的研究。

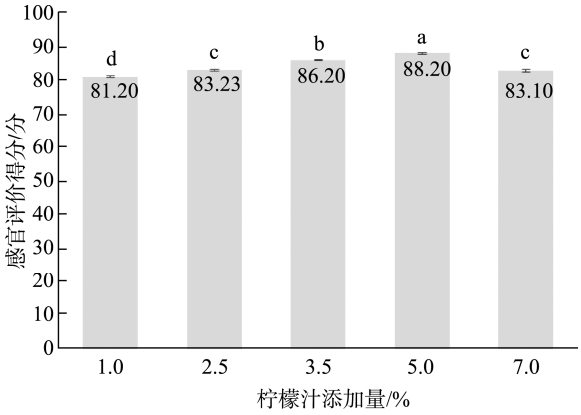


图 3　柠檬汁添加量对蓝莓沙苑红萝卜酱的感官品质的影响

Fig.3　Effects of the addition levels of lemon juice on the sensory evaluation of *Vaccinium* and Shayuan-*Daucus carota* sauce

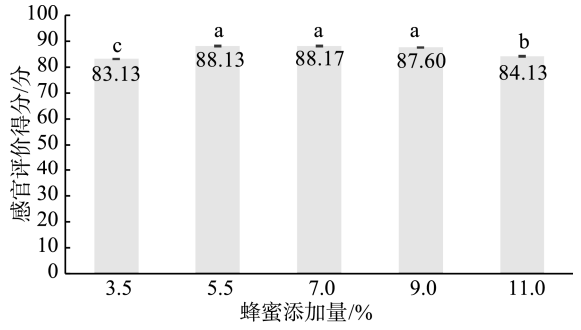


图 4　蜂蜜添加量对蓝莓沙苑红萝卜酱的感官品质的影响

Fig.4　Effects of the addition levels of honey on the sensory evaluation of *Vaccinium* and Shayuan-*Daucus carota* sauce

2.1.4　土豆淀粉添加量对蓝莓沙苑红萝卜酱的感官品质的影响

土豆淀粉具有较好的透明度、凝沉性, 在高温时糊化完全, 糊化性能较好, 不容易回生[38], 因此, 本研究中以土豆淀粉做为增稠剂。由图 5 所示, 蓝莓沙苑红萝卜酱的感官评价总分随着土豆淀粉添加量的增加而下降, 添加量为 0.7%时果酱的感官品质最好, 与其他添加量有显著差异(P<0.05), 添加量为 1.0%和 1.4%时果酱的感官品质次之。随着土豆淀粉添加量的增加, 蓝莓沙苑红萝卜酱的色泽得分呈先升高后下降的趋势, 当添加量为 1.4%时色泽最好。土豆淀粉添加过多, 会使得果酱的黏腻感比较明显, 从而影响果酱的口感。在加热浓缩时需要将土豆淀粉溶解到水中, 所以, 土豆淀粉添加越多, 浓缩到终点的时间越长, 酱体中营养成分流失越多, 故而其口感降低。所以, 选择土豆淀粉添加量为 0.7%、1.0%和 1.4%用于进一步的研究。

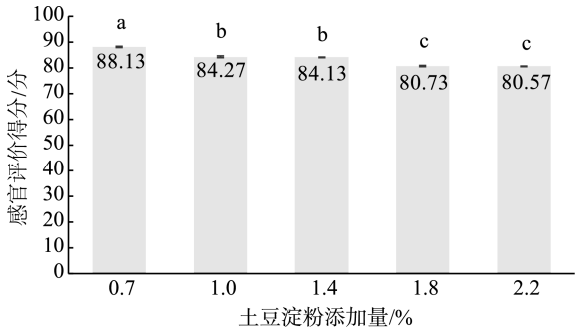


图 5 土豆淀粉添加量对蓝莓沙苑红萝卜酱的感官品质的影响

Fig.5 Effects of the addition levels of potato starch on the sensory evaluation of *Vaccinium* and Shayuan-*Daucus carota* sauce

2.2 正交试验结果

根据单因素试验结果, 以沙苑红萝卜与蓝莓配比(*A*)、柠檬汁添加量(*B*)、蜂蜜添加量(*C*)和土豆淀粉添加量(*D*)为变量, 以蓝莓沙苑红萝卜酱的感官评价为指标进行了 4 因素 3 水平的正交试验。各因素的试验水平见表 2。为了验证各因素对蓝莓沙苑红萝卜酱的影响程度, 各实验重复做 3 次, 对 11 位评分者一致性(Fleiss Kappa 系数[39])进行分析, Kappa 值为 0.839, 结果表明评分者的感官评价高度一致。正交试验结果及极差分析见表 4, 方差分析见表 5。

由极差分析结果(表 4)可见, 4 个因素中对蓝莓沙苑红萝卜酱的影响显著顺序为: 蜂蜜添加量(*C*)>沙苑红萝卜与蓝莓配比(*A*)>土豆淀粉添加量(*D*)>柠檬汁添加量(*B*)。蜂蜜添加量的最优水平为 9.0%, 沙苑红萝卜与蓝莓配比的最佳水平是 2:1 (*m*:*m*), 土豆淀粉添加量的最优水平的 1.0%, 柠檬汁添加量最佳水平是 3.5%。由方差分析结果(表 5)可见, 蜂蜜添加量(*C*)和沙苑红萝卜蓝莓配比(*A*)对蓝莓沙苑红萝卜酱的影响极显著($P<0.001$), 其次是土豆淀粉添加量(*D*)($P<0.05$), 柠檬汁添加量(*B*)对蓝莓沙苑红萝卜酱的影响不显著。方差分析结果与极差分析结果一致。

表 4 蓝莓沙苑红萝卜酱的正交试验结果和极差分析(*n*=3)

Table 4 Results and range analysis of orthogonal experiments of *Vaccinium* and Shayuan-*Daucus carota* sauce (*n*=3)

试验编号	试验因素				感官评价得分			
	A	*B*	*C*	*D*	y_1	y_2	y_3	*Y*
1	1	1	1	1	76.18	78.09	79.00	77.76
2	1	2	2	2	81.09	80.00	82.00	81.03
3	1	3	3	3	79.09	81.27	83.18	81.18
4	2	1	2	3	74.00	70.00	83.00	75.67
5	2	2	3	1	83.09	87.18	88.18	86.15
6	2	3	1	2	80.09	78.00	78.00	78.70
7	3	1	3	2	80.09	81.09	84.09	81.76
8	3	2	1	3	68.09	70.00	72.00	70.03
9	3	3	2	1	66.18	66.00	71.18	67.79
K_1	719.91	705.55	679.45	695.09				
K_2	721.55	711.64	673.45	724.45				
K_3	658.73	683.00	747.27	680.64				
k_1	79.99	78.39	75.49	77.23				
k_2	80.17	79.07	74.83	80.49				
k_3	73.19	75.89	83.03	75.63				
R	6.98	3.18	8.20	4.87				
最优水平	2	2	3	2				
最优组合	$A_2B_2C_3D_2$							
主次顺序	*C*>*A*>*D*>*B*							

注: y_1、y_2、y_3分别表示 3 次试验的感官评价分值; *Y* 表示 3 次重复试验感官评价的平均值; K_1、K_2、K_3分别表示某因素在水平 1、2、3 时所有试验的感官评价分值总和; k_1、k_2、k_3分别表示某因素在水平 1、2、3 时所有试验的感官评价平均值; *R* 表示极差。

表 5　蓝莓沙苑红萝卜酱的正交试验的方差分析
Table 5　Variance analysis of orthogonal experiments of *Vaccinium* and Shayuan-*Daucus carota* sauce

因素	误差平方和	自由度	均方	*F*	*P*
A	284.89	2	142.44	16.62	0.00008*
B	50.57	2	25.29	2.95	0.07793
C	373.50	2	186.75	21.79	0.00002*
D	110.78	2	55.39	6.46	0.00766*
误差	154.26	18	8.57		

注: *表示影响显著, $P<0.05$。

根据正交实验结果可得到蓝莓沙苑红萝卜酱的最优配方: 沙苑红萝卜与蓝莓配比 2:1 (*m*:*m*)、柠檬汁添加量 3.5%、蜂蜜添加量 9.0%、土豆淀粉添加量 1.0%。因为此配方未出现在正交试验中, 故根据此配方做了 3 次实验, 其感官评价结果见表 6。如表 6 所示, 以最优配方制备的红萝卜酱具有优秀的口感和色泽。

表 6　最优配方制备的蓝莓沙苑红萝卜酱的感官评价结果
Table 6　Sensory evaluation results of the *Vaccinium* and Shayuan-*Daucus carota* sauce made with the optimal formulation

序号	组织形态 (30 分)	口感 (30 分)	香味 (20 分)	色泽 (20 分)	感官评价总分 (100 分)
1	28	27	18	18	91
2	28	26	18	18	90
3	28	27	18	18	91

本研究采用的浓缩方法、研究发现的各因素对果酱的感官品质的影响显著顺序均与迟恩忠等[26]、楚文靖等[27]、时志军等[28]的研究一致。本研究中蜂蜜添加量明显小于楚文靖等[27]、时志军等[28]的白砂糖添加量, 与迟恩忠等[26]的赤藓糖醇添加量相当。

2.3　蓝莓沙苑红萝卜酱的营养成分分析

将最优配方制得的 4 个样品送往第三方检测机构(陕西秦云农产品检验检测股份有限公司)进行营养成分检测, 每个样品做 3 次平行检测, 4 个样品的检测结果及其相对平均偏差(relative mean deviation, RMD)见表 7。

如表 7 所示, 蓝莓沙苑红萝卜酱中含有丰富的 *β*-胡萝卜素、维生素 A、蛋白质、脂肪酸和矿物质, 不含脂肪、葡萄糖。*β*-胡萝卜素是天然抗氧化剂, 人体吸收后可转变为维生素 A, 发挥视力保护、抗氧化、抗炎、抗肿瘤、调节免疫等生物活性[40]。矿物质是人体必需的七大营养素之一, 具有多种生理功能。本产品中 *β*-胡萝卜素的含量约为 777.25 μg/100 g, 维生素 A 的含量约为 51.30 μg/100 g, 钙、铁、钠等矿物质含量较高, 其中铁的含量约为 46.93 mg/kg (约为鲜红萝卜的 27 倍)。本产品中不含葡萄糖, 但是果糖含量约为 18.98 g/100 g。产品的果糖主要来源于红萝卜、蓝莓和蜂蜜。因为蜂蜜对产品的感官品质影响显著, 所以在制备产品时, 可以根据蜂蜜的种类适当调整其添加量, 以获得较好的口感和适宜的果糖含量。如表 7 所示, 利用最优工艺制备的蓝莓沙苑红萝卜酱的蛋白质、果糖、*β*-胡萝卜素、钙、铁、钾、钠等营养成分含量较稳定(RMD<10%), 但维生素 A 含量很不稳定(RMD>50%)。邢龙等[41]研究发现随着加工温度的升高和加工时间的延长, 食物中维生素 A 的损失将增加。本研究采取加热浓缩的工艺, 所以对维生素 A 的含量影响较大。综上, 本研究开发的蓝莓沙苑红萝卜酱没有化学添加剂, 具有较高的营养价值。

表 7　蓝莓沙苑红萝卜酱的营养成分分析(*n*=3)
Table 7　Nutritional analysis of *Vaccinium* and Shayuan-*Daucus carota* sauce (*n*=3)

营养成分	含量		营养成分	含量	
	平均值	RMDs/%		平均值	RMDs/%
水分/%	76.63	4.14	维生素 A/(μg/100 g)	51.30	59.94
蛋白质/(g/100 g)	0.78	7.84	*β*-胡萝卜素/(μg/100 g)	777.25	3.89
灰分/(g/100 g)	0.35	14.29	维生素 C/(mg/100 g)	0.00	/
脂肪/(g/100 g)	0.00	/	钙/(mg/kg)	253.50	7.99
碳水化合物/(g/100 g)	22.24	14.55	铁/(mg/kg)	46.93	5.73
脂肪酸总量/(g/100 g)	0.15	22.82	锌/(mg/kg)	6.63	16.23
葡萄糖/(g/100 g)	0.00	/	钾/(mg/100 g)	107.83	5.26
果糖/(g/100 g)	18.98	5.40	钠/(mg/100 g)	82.60	2.06

注: /表示无此项。

3 讨论与结论

针对陕西省渭南市地方产业“沙苑红萝卜”的产品形式单一的痛点问题，本研究以沙苑红萝卜、蓝莓、柠檬、土豆淀粉和蜂蜜为原料开发了具有较高营养价值的健康食品-蓝莓沙苑红萝卜酱。采用单因素试验和正交试验，以感官评价为响应值，对加工工艺进行了优化。研究结果表明蜂蜜添加量对沙苑红萝卜酱的品质具有显著影响(P<0.05)，因此，可以根据蜂蜜的含糖量以及酱体甜度的需求而调整蜂蜜的添加量。蓝莓沙苑红萝卜酱的最优加工工艺为：沙苑红萝卜蓝莓配比为 2:1 (m:m)、柠檬汁添加量 3.5%、蜂蜜添加量 9.0%、土豆淀粉添加量 1.0%。该工艺制成的蓝莓沙苑红萝卜酱口感细腻，酸甜可口，色泽呈紫红色，且富含胡萝卜素、维生素 A、蛋白质、脂肪酸以及钙、铁、钠等矿物质，其中β-胡萝卜素和维生素 A 的含量分别约为 777.25 μg/100 g 和 51.30 μg/100 g，铁的含量约为 46.93 mg/kg，不含脂肪和葡萄糖，具有较高的营养价值。本研究也发现产品中维生素 A 的含量因加热浓缩而不稳定，与文献[40]一致，因此后续可以研究不同浓缩工艺对酱体营养成分稳定性的影响。本研究能为渭南地区沙苑红萝卜新产品的开发提供新的思路和数据支持。

参考文献

[1] 于皎雪, 胡文忠, 赵曼如, 等. 鲜切胡萝卜保鲜技术研究进展[J]. 食品工业科技, 2020, 41(1): 349–353, 360.
YU JX, HU WZ, ZHAO MR, *et al*. Research progress on fresh-keeping technology of fresh-cut carrot [J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(1): 349–353, 360.

[2] 赵明姣, 钟亚东, 张豪, 等. 不同加工方式下胡萝卜对小鼠溃疡性结肠炎的影响[J]. 食品科学, 2023, 44(23): 104–113.
ZHAO MJ, ZHONG YD, ZHANG H, *et al*. Effects of differently processed carrots on ulcerative colitis in mice [J]. Food Science, 2023, 44(23): 104–113.

[3] ASDAQ SMB, SWATHI E, DHAMANIGI SS, *et al*. Role of *Daucus carota* in enhancing antiulcer profile of pantoprazole in experimental animals [J]. Molecules, 2020, 25(22): 5287.

[4] AHMAD T, CAWOOD M, IQBAL Q, *et al*. Phytochemicals in daucus carota and their health benefits-review article [J]. Foods, 2019, 8(9): 424.

[5] IKRAM A, RASHEED A, KHAN-KHAN A, *et al*. Exploring the health benefits and utility of carrots and carrot pomace: A systematic review [J]. International Journal of Food Properties, 2024, 27(1): 180–193.

[6] 陈永芳, 李德明. 四种不同加工方式对富益生菌胡萝卜脆片品质的影响分析[J]. 中国调味品, 2023, 48(9): 148–151.
CHEN YF, LI DM. Effects of four different processing methods on quality of probiotic-rich carrot chips [J]. China Condiment, 2023, 48(9): 148–151.

[7] 何进武, 张东亮, 樊伟伟. 胡萝卜番茄复合酱加工工艺优化及营养成分研究[J]. 中国调味品, 2023, 48(3): 152–155.
HE JW, ZHANG DL, FAN WW. Study on processing technology optimization and nutrient composition of compound sauce of carrot and tomato [J]. China Condiment, 2023, 48(3): 152–155.

[8] 黄慧福, 周开聪. 苹果-草莓-胡萝卜复合低糖果酱加工的工艺研究[J]. 食品工业, 2013, 34(4): 77–80.
HUANG HF, ZHOU KC. Study on the processing technology of apple-carrot-strawberry composite low-sugar jam [J]. The Food Industry, 2013, 34(4): 77–80.

[9] 吕欣然, 李欣洁, 梁源, 等. 基于文献计量学的胡萝卜汁研究现状可视化分析[J]. 食品工业科技, 2022, 43(13): 320–328.
LV XR, LI XJ, LIANG Y, *et al*. Visual analysis of carrot juice research status based on bibliometrics [J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(13): 320–328.

[10] BILBAO-SAINZ C, OLSEN C, CHIOU BS, *et al*. Benefits of isochoric freezing for carrot juice preservation [J]. Journal of Food Science, 2024, 89(3): 1324–1336.

[11] MOTEGAONKAR S, SHANKAR A, TAZEEN H, *et al*. A comprehensive review on carrot (*Daucus carota* L.): The effect of different drying methods on nutritional properties and its processing as value-added foods [J]. Sustainable Food Technology, 2024, 2(3): 667–688.

[12] KAUSAR T, LAARAJ S, HUSSAIN A, *et al*. Use of dehydrated carrot (*Daucus carota*) pomace and almond (*Prunus dulcis*) powder for partial replacement of wheat flour in cake: Effect on product quality and acceptability [J]. Frontiers in Sustainable Food Systems, 2024(8): 1443841.

[13] 吕美琳, 陈洪杰, 龙雯洁, 等. 热处理对 NFC 富硒胡萝卜汁稳定性及香气成分的影响[J]. 中国食品学报, 2025, 25(2): 247–256.
LV ML, CHEN HJ, LONG WJ, *et al*. Effects of heat treatment on stability and aroma components of NFC selenium-enriched carrot juice [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2025, 25(2): 247–256.

[14] 张海涛, 张海容, 淡瑞芳. 不同热烫条件对胡萝卜加工品质的影响[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2011, 32(5): 40–42, 78.
ZHANG HT, ZHANG HR, DAN RF. Effects of different blanching conditions on the processing quality of carrots [J]. Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition), 2011, 32(5): 40–42, 78.

[15] 卜庆雁, 周晏起. 浅析蓝莓的营养保健功能及开发利用前景[J]. 北方园艺, 2010(8): 215–217.
BU QY, ZHOU YQ. Brief analysis of the nutritional and health-care functions of blueberries and the prospects for their development and utilization [J]. Northern Horticulture, 2010(8): 215–217.

[16] 王頓, 熊莹莹, 刘家诚, 等. 蓝莓果实抗氧化活性研究[J]. 世界热带农业信息, 2022(4): 1–2.
WANG D, XIONG YY, LIU JC, *et al*. Study on the antioxidant activity of blueberry fruits [J]. World Tropical Agriculture Information, 2022(4): 1–2.

[17] 郭研彤, 杨柳, 金玉姬. 抗衰老食物的研究进展[J]. 吉林医药学院学报, 2021, 42(2): 125–127.
GUO YT, YANG L, JIN YJ. Research progress on anti-aging foods [J]. Journal of Jilin Medical University, 2021, 42(2): 125–127.

[18] WU Y, HAN T, YANG H, *et al*. Known and potential health benefits and mechanisms of blueberry anthocyanins: A review [J]. Food Bioscience, 2023(55): 103050.

[19] 李斌, 鲍义文, 李佳欣, 等. 蓝莓加工副产物资源综合利用及新业态发展趋势[J]. 食品科学技术学报, 2024, 42(4): 1–10.

LI B, BAO YW, LI JX, *et al*. Comprehensive utilization of blueberry processing by-product resources and development trend of new business forms [J]. Journal of Food Science and Technology, 2024, 42(4): 1–10.

[20] 何婉莹, 但利, 赵良忠, 等. 湿法超微粉碎—复合酶法制备蓝莓果汁工艺优化及其抗氧化活性分析[J]. 食品与机械, 2024, 40(5): 180–187.
HE WY, DAN L, ZHAO LZ, *et al*. Optimization of the preparation process and antioxidant activity analysis of blueberry juice by wet ultrafine grinding process and compound enzymolysis method [J]. Food & Machinery, 2024, 40(5): 180–187.

[21] 王永鹏. 蓝莓果醋的制备及其保健功能的研究[J]. 中国调味品, 2020, 45(12): 194–196, 200.
WANG YP. Study on the preparation of blueberry vinegar and health functions [J]. China Condiment, 2020, 45(12): 194–196, 200.

[22] 马新雨, 毕秀芳, 任书凝, 等. 蓝莓复合果泥超高压和热杀菌的比较分析[J]. 现代食品科技, 2024, 40(4): 206–214.
MA XY, BI XF, REN SN, *et al*. Comparative analysis of ultra-high pressure and thermal sterilization of a blueberry-strawberry-apple puree [J]. Modern Food Science and Technology, 2024, 40(4): 206–214.

[23] 张雪, 史晨阳, 卢珊, 等. 发酵型蓝莓果酱工艺优化及其抗氧化活性研究[J]. 食品科技, 2025, 50(3): 93–102.
ZHANG X, SHI CY, LU S, *et al*. Optimization of fermented blueberry jam processing and its antioxidant activity study [J]. Food Science and Technology, 2025, 50(3): 93–102.

[24] VARO MA, MARTIN-GOMEZ J, MERIDA J, *et al*. Exploring the impact of temperature and fermentation time on the evolution of bioactive compounds, antioxidant activity, and color evolution in blueberry wines [J]. ACS Food Science & Technology, 2024, 4(5): 1301–1309.

[25] GALLI V, VENTURI M, PINI N, *et al*. Influence of pepper and blueberry purees fermented by an autochthonous microbial consortium on the aroma and technological properties of bread [J]. Food and Bioprocess Technology, 2025, 18(5): 4410–4424.

[26] 迟恩忠, 王丽, 杨雨浩, 等. 蓝莓胡萝卜复合果酱的配方优化及货架期预测[J]. 中国调味品, 2020, 45(7): 123–126.
CHI ENZ, WANG L, YANG YH, *et al*. Formula optimization and shelf life prediction of blueberryand carrot compound jam [J]. China Condiment, 2020, 45(7): 123–126.

[27] 楚文靖, 周娜, 尚传仙, 等. 响应面法优化低糖蓝莓胡萝卜复合果蔬酱的工艺研究[J]. 现代食品, 2021(5): 75–80.
GUO WJ, ZHOU N, SHANG CX, *et al*. Response surface methodology to optimize the process of low sugar blueberry and carrot compound fruit vegetable sauce [J]. Modern Food, 2021(5): 75–80.

[28] 时志军, 孔令硕, 张齐, 等. 蓝莓果渣胡萝卜果酱的研制[J]. 农产品加工, 2023(11): 16–19.
SHI ZJ, KONG LS, ZHANG Q, *et al*. The machining of blueberry pomace and carrot jam [J]. Agricultural Products Processing, 2023(11): 16–19.

[29] 深圳市安路云农产品大数据溯源技术研究院. 沙苑红萝卜[EB/OL]. (2017-11-25) [2025-05-14]. http://www.anluyun.com/Home/Product/27881
Shenzhen Anluyun Research Institute of Big Data Traceability Technology for Agricultural Products. Shayuan carrot [EB/OL]. (2017-11-25) [2025-05-14]. http://www.anluyun.com/Home/Product/27881

[30] ŚWIADER K, MARCZEWSKA M. Trends of using sensory evaluation in new product development in the food industry in countries that belong to the EIT regional innovation scheme [J]. Foods, 2021, 10(2): 446.

[31] 曹榛, 江平, 黄钰涵, 等. 江淮地区不同蓝莓品种的果实品质与贮藏性分析[J]. 中国果树, 2025(12): 58–67.
CAO Z, JIANG P, HUANG YH, *et al*. Analysis of fruit quality and storability of different blueberry varieties in Jianghuai region [J]. China Fruits, 2025(12): 58–67.

[32] 陈洪杰, 吕美琳, 宋文娜, 等. NFC 富硒胡萝卜复合果蔬汁工艺优化及香气成分分析[J]. 食品研究与开发, 2024, 45(17): 95–104.
CHEN HJ, LV ML, SONG WN, *et al*. Optimization of NFC selenium enriched carrot composite fruit and vegetable juice technology and aroma composition analysis [J]. Food Research and Development, 2024, 45(17): 95–104.

[33] 周玥, 张娜, 林太凤, 等. 柠檬汁清除 DPPH 自由基能力及实验方法比较研究[J]. 食品工业科技, 2012, 33(16): 176–178, 182.
ZHOU Y, ZHANG N, LIN TF, *et al*. Comparative study on DPPH radical scavenging capacities of lemon juice based on two methods [J]. Science and Technology of Food Industry, 2012, 33(16): 176–178, 182.

[34] 徐诗蕊, 辜夕容, 林美灵, 等. 柠檬汁对山药褐变及水溶性成分含量的影响[J]. 食品工业, 2024, 45(10): 140–145.
XU SR, GU XR, LIN ML, *et al*. Effects of lemon juice on the browning and content of water-soluble components of yam [J]. The Food Industry, 2024, 45(10): 140–145.

[35] KSIAZEK E. Citric acid: Properties, microbial production, and applications in industries [J]. Molecules, 2024, 29(1): 22.

[36] 江慧枝, 陈伟轩, 徐敏, 等. 蜂蜜抗氧化活性和抗衰老功能研究进展[J]. 应用昆虫学报, 2025, 62(4): 867–880.
JIANG HZ, CHEN WX, XU M, *et al*. Advances in research on the antioxidant properties and anti-aging functions of honey [J]. Chinese Journal of Applied Entomology, 2025, 62(4): 867–880.

[37] 陈海燕, 程仕群, 胡腾鑫, 等. 蜂蜜中果糖、葡萄糖、蔗糖的稳定性[J]. 食品工业, 2021, 42(11): 237–242.
CHEN HY, CHENG SQ, HU TX, *et al*. Stability of fructose, glucose and sucrose in honey [J]. The Food Industry, 2021, 42(11): 237–242.

[38] 张杰, 何义萍, 韩小贤, 等. 燕麦淀粉与常见淀粉的性质对比研究[J]. 粮食与饲料工业, 2012(11): 20–22, 28.
ZHANG J, HE YP, HAN XX, *et al*. Comparative study on properties of oat starch and commonly used starches [J]. Cereal & Feed Industry, 2012(11): 20–22, 28.

[39] GWET KL. Large-sample variance of Fleiss Generalized Kappa [J]. Educational and Psychological Measurement, 2021, 81(4): 781–790.

[40] ZHAO T, HE X, YAN X, *et al*. Recent advances in the extraction, synthesis, biological activities, and stabilisation strategies for *β*-carotene: A review [J]. International Journal of Food Science and Technology, 2024, 59(4): 2136–2147.

[41] 邢龙, 高琪, 黄心怡, 等. 不同热加工方式对栉孔扇贝中维生素A类化合物的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2023, 14(4): 105–111.
XING L, GAO Q, HUANG XY, *et al*. Effects of different thermal processing methods on vitamin A substances in *Chlamys farreri* [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2023, 14(4): 105–111.

(责任编辑: 安香玉　蔡世佳)