

冯颖, 任国秋. 强化花色苷对紫玉米粉固体饮料品质的影响及其配方优化[J]. 沈阳农业大学学报, 2024, 55(1): 37-46.
FENG Ying, REN Guoqiu. Effect of anthocyanin addition and formular optimization on the quality of purple corn solid beverage[J].
Journal of Shenyang Agricultural University, 2024, 55(1): 37-46.

强化花色苷对紫玉米粉固体饮料品质的影响 及其配方优化

冯颖, 任国秋

(沈阳农业大学 食品学院, 沈阳 110161)

摘要:以紫玉米粉为主要原料, 研究强化花色苷(紫玉米花色苷添加量分别为0.25%、0.50%、0.75%、1.00%和1.25%)对紫玉米粉固体饮料的功能活性(DPPH自由基清除活性、 α -葡萄糖苷酶抑制活性)及感官品质的影响。在此基础上, 通过添加阿拉伯胶(添加量分别为2%、4%、6%、8%和10%)、甜菊糖苷(添加量分别为0.004%、0.008%、0.012%、0.016%和0.020%)改善紫玉米粉固体饮料的感官品质, 通过响应面法最终优化确定了无糖紫玉米粉固体饮料产品的配方。结果表明: 随着紫玉米花色苷添加量的增加, 紫玉米粉固体饮料的DPPH自由基清除活性、 α -葡萄糖苷酶抑制活性随之增大, 表明强化紫玉米花色苷有利于提高紫玉米粉固体饮料的功能活性; 但感官评价和电子舌测定结果表明, 随着紫玉米花色苷添加量增加, 固体饮料的酸涩感增强, 因此, 紫玉米花色苷添加量以0.25%~0.75%为宜。阿拉伯胶、甜菊糖苷添加量的增加, 可以通过改善紫玉米花色苷带来的酸涩感及其他不良风味, 从而改善固体饮料的感官品质, 二者添加量分别为6%~10%和0.012%~0.020%为佳。以感官评分作为响应值进行三因素三水平的配方优化设计, 得到无糖紫玉米粉固体饮料的最优配方为: 紫玉米花色苷添加量0.518%, 阿拉伯胶添加量8.437%, 甜菊糖苷添加量0.014%。试验研究结果为紫玉米资源深加工产品开发及副产品的开发利用提供了理论依据。

关键词:紫玉米; 花色苷; 固体饮料; 风味; 响应面

中图分类号: TS275.4

文章编号: 1000-1700(2024)01-0037-10

文献标识码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Effect of Anthocyanin Addition and Formular Optimization on the Quality of Purple Corn Solid Beverage

FENG Ying, REN Guoqiu

(College of Food Science, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110161, China)

Abstract: In this study, the influences of the addition (0.25%, 0.50%, 0.75%, 1.00%, and 1.25%) of purple corn anthocyanin (PCA) on the functional properties (DPPH scavenging activity, α -glucosidase inhibition activity) and sensory qualities of purple corn powder solid beverage were investigated. On this basis, Arabic gum (2%, 4%, 6%, 8%, and 10%) and stevioside (0.004%, 0.008%, 0.012%, 0.016%, and 0.020%) were added to improve the sensory quality of the solid beverage. Response surface methodology (RSM) was used to optimize the formular of the solid beverage. The results showed that PCA addition increased the DPPH scavenging activity, and α -glucosidase inhibition activity, however decreased the sensory quality due to its sour and astringent flavor, thus its addition of 0.25%-0.75% was suitable. The addition of Arabic gum and stevioside improved the sour and astringent flavor caused by PCA and their optimal addition amount was 6%-10%、0.012%-0.020%, respectively. The sensory score was used as the response value to carry out a three-factor three-level

收稿日期: 2023-12-26

基金项目: 国家重点研发计划项目(2022YFD2101304)

第一作者: 冯颖(1975-), 女, 博士, 教授, 从事食品加工及生物活性物质方面研究, E-mail: fywjg@sina.com

RSM experimental optimization design, and the optimal formular of purple corn powder stevioside was obtained as follows: PCA addition 0.518%, gum arabic addition 8.437%, steviol glycoside 0.014%. These results provide theoretical references for the furthur development of purple corn and its by-products.

Key words: purple corn; anthocyanins; solid drinks; flavor; response surface

紫玉米,原产于秘鲁,因呈深紫色至黑色又名蓝玉米、乌玉米、黑玉米、墨玉米、黑甜糯玉米等^[1]。紫玉米抗寒、耐旱、适应能力极强,且可在春夏两季播种,在我国安徽、山西两省种植范围较广^[2]。当前,紫玉米品种资源已较为丰富,包括黑(紫)色糯玉米如黑诺6号、靠山一号等^[3]。目前,紫玉米已经被做成饮料^[4-6]、杂粮糊^[7]、糖果、玉米片^[8]、发酵乳^[9]等产品,但深加工产品开发仍不足。

紫玉米中花色苷含量丰富,目前已广泛应用于果冻、糖果、清凉饮料以及咀嚼片中。紫玉米花色苷具有抗氧化活性^[10]、降血糖活性^[11]、抗癌活性^[12],还具有抑制肥胖、抑菌^[13]等活性,并且对肠道菌群健康产生有益影响^[14]。研究表明,紫玉米穗轴中花色苷含量高于紫玉米籽粒中花色苷含量^[15]。

本研究以紫玉米粉作为主要原料,向其中添加紫玉米穗轴花色苷以期增强紫玉米粉固体饮料的功能活性和改善其颜色,并通过配方优化的方法进一步改善产品感官品质,以期对紫玉米资源深加工及副产品的开发提供参考依据。

1 材料与amp;方法

1.1 材料与试剂

黑诺6号紫玉米粒(购于山东省滨州市阳信县地区),紫玉米穗轴花色苷(实验室自制),阿拉伯胶(高黏)、甜菊糖苷(食品级,河南万邦化工科技有限公司),白砂糖(食品级,北京糖业烟酒集团有限公司),DPPH、柠檬酸、柠檬酸钠、氯化钾(分析纯,上海麦克林生化科技有限公司),无水乙醇、乙酸钠、碳酸钠(分析纯,国药集团化学试剂有限公司),PNPG、 α -葡萄糖苷酶(分析纯,上海瑞永生物科技有限公司)。

1.2 仪器与设备

YP-5102电子天平(上海跃进医疗器械有限公司),KWS0709J-F8H(XP)格兰仕烤箱(中山市格兰仕生活电器制造有限公司),XM-600打粉机(永康市柏欧五金制品有限公司),SA402B味觉分析系统(日本Insent公司),TU-1810紫外可见分光光度计(北京普析通用仪器有限公司),ELX-800酶标仪(美国BIOTEK公司)。

1.3 试验方法

1.3.1 紫玉米粉固体饮料的制备 根据预试验及相关文献,设定紫玉米粉固体饮料配方的主要原料:紫玉米粉、紫玉米花色苷提取物、阿拉伯胶、甜菊糖苷。

将紫玉米粒使用粉碎机粉碎并过100目筛,在175℃条件下烤制4min;紫玉米花色苷通过提取、纯化并经真空冷冻干燥48h得到;准确称取一定量紫玉米粉、紫玉米花色苷、阿拉伯胶、甜菊糖苷,充分将其混合均匀后置于铝箔袋中密封,得到紫玉米粉固体饮料,置于阴凉干燥处保存。

1.3.2 紫玉米花色苷添加量对紫玉米粉固体饮料品质的影响 固定阿拉伯胶添加量6%、甜菊糖苷添加量0.012%的基础上,向紫玉米粉中分别添加紫玉米花色苷0.25%、0.50%、0.75%、1.00%和1.25%,从花色苷含量、自由基清除率、 α -葡萄糖苷酶抑制活性、感官评分及电子舌分析方面,考察紫玉米花色苷添加量对于紫玉粉固体饮料功能活性和感官品质的影响。综合功能活性和感官品质,确定紫玉米花色苷适宜添加量。

1.3.3 阿拉伯胶添加量对紫玉米粉固体饮料品质的影响 在1.3.2确定紫玉米花色苷适宜添加量的基础上,固定甜菊糖苷添加量0.012%,向紫玉米粉中分别添加阿拉伯胶2%、4%、6%、8%和10%,从感官评分、电子舌分析及冲调稳定性方面,考察不同阿拉伯胶添加量对于固体饮料品质的影响。

1.3.4 甜菊糖苷添加量对紫玉米粉固体饮料品质的影响 紫玉米花色苷添加量、阿拉伯胶添加量确定后,向紫玉米粉中分别添加不同量的甜菊糖苷0.004%、0.008%、0.012%、0.016%和0.020%,从感官评分及电子舌分析两方面,考察甜菊糖苷添加量对于固体饮料品质的影响。

1.3.5 响应面实验设计优化紫玉米粉固体饮料配方 根据上文原料用量对于固体饮料品质影响的试验结果,响应值确定为紫玉米粉固体饮料的感官评分,因素选择紫玉米花色苷添加量、甜菊糖苷添加

量、阿拉伯胶添加量,进行三水平三因素的试验优化设计。

1.3.6 紫玉米粉固体饮料花色苷含量及功能活性测定方法

1.3.6.1 样品提取液的制备 使用电子天平称取10 g紫玉米粉固体饮料,置于250 mL锥形瓶中,加入100 mL提取剂(0.2 mol·L⁻¹的柠檬酸与无水乙醇以体积比3:7混合),使固体饮料充分溶解后于57 °C下超声波辅助提取30 min,抽滤,弃去滤渣,得到上清液即为提取液,收集备用。

1.3.6.2 花色苷含量的测定 花色苷含量参照GAYAN等^[16]方法采用pH示差法测定(稍有改动):取0.5 mL样品提取液两份,将其与4.5 mL HCl-KCl缓冲液(pH=1)、HCl-CH₃COONa缓冲液(pH=4.5)分别混合,在40 °C的水浴锅中反应30 min后,离心5 min(4 °C、10 000 r·min⁻¹),在波长520 nm和700 nm处取上清液分别进行测定并计算花色苷含量。

$$A = (A_{520} - A_{700})_{\text{pH} 1.0} - (A_{520} - A_{700})_{\text{pH} 4.5}$$

$$\text{花色苷含量}(\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}) = \frac{A \times M \times DF \times V}{\varepsilon \times L \times m}$$

式中: M 为矢车菊-3-葡萄糖苷摩尔质量(449.2 g·mol⁻¹); V 为样品提取液的总加入体积(mL); DF 为稀释倍数; ε 为消光系数(26 900 L·mol⁻¹·cm⁻¹); L 为光路长度(1 cm); m 为称取的固体饮料粉末质量(g)。

1.3.6.3 DPPH 自由基清除活性的测定 DPPH自由基清除活性参照KUMARI等^[17]方法进行测定(稍加改动)。取固体饮料样品提取液100 μL(10倍稀释处理)于96孔板中,加入100 μL DPPH-无水乙醇工作液,混匀后置于暗处反应30 min,测定517 nm波长处的吸光值。

$$\text{DPPH自由基清除率}(\%) = \frac{A_0 - (A_1 - A_2)}{A_0} \times 100$$

式中: A_0 为空白组测定所得吸光值; A_1 为样品组测定所得吸光值; A_2 为样品背景组测定所得吸光值。

1.3.6.4 α-葡萄糖苷酶抑制活性的测定 α-葡萄糖苷酶抑制活性测定方法参考KUMAR等^[18]方法,略有改动。α-葡萄糖苷酶溶液和PNPG溶液均使用0.1 mol·L⁻¹ PBS缓冲液(pH=6.9)配制。将25 μL α-葡萄糖苷酶溶液和50 μL固体饮料样品提取液混匀后,37 °C条件下反应10 min,加入PNPG溶液25 μL(5 mmol·L⁻¹),37 °C下继续反应30 min,最终加入100 μL Na₂CO₃溶液(0.2 mol·L⁻¹)终止反应,于405 nm波长处测定吸光值。

$$\alpha\text{-葡萄糖苷酶抑制率}(\%) = \frac{A_0 - (A_1 - A_2)}{A_0} \times 100$$

式中: A_0 为空白组测定所得吸光值; A_1 为样品组测定所得吸光值; A_2 为样品背景组测定所得吸光值。

1.3.7 紫玉米粉固体饮料的感官评定 参考孙军涛等^[19]对速溶杂粮固体饮料的感官评分(稍加改动),结合BEMBEM等^[20]的评分标准(略有改动),从色泽、香气、组织状态、口感风味4方面对冲调后的紫玉米粉固体饮料进行感官评定,评分参考标准见表1。

表1 紫玉米粉固体饮料感官评分
Table 1 Sensory score of solid beverage

项目 Project	评分标准 Scoring standard		
	优 Excellent(7~9)	良 Good(4~6)	差 Poor(0~3)
色泽(9分) Color	紫色、悦目、色泽均匀 Uniform purple, pleasing to the eye	浅紫色或深紫色,色泽均一 Light or dark purple, uniform color	色泽不均一、轻微浑浊 Uneven color, slightly cloudy
香气(9分) Aroma	香气浓郁、协调 Rich and harmony aroma	香气较淡、有其他杂质 Light aroma, other odor	稍有异味或香气被其他气味掩盖 Smells slightly or is masked by other odors
组织形态(9分) Tissue morphology	原料细腻、无结块、稳定性好 Fine raw materials, no caking, good punch stability	有少量结块、稳定性稍差 A small amount of caking, slightly poor stability	稳定性差、有大量结块沉淀物 Poor stability, a large number of caked sediments
口感与风味(9分) Taste and flavor	口感细腻、柔和、酸甜适中 Delicate, soft, moderately sweet and sour	较细腻、少许甜或少许酸涩味 More delicate, a little sweet or sour	粗糙、甜味或酸涩味严重、口感失衡 Harsh, severe sweet or sour, taste imbalance

1.3.8 电子舌法测定固体饮料的风味 参考刘媛媛^[21]对人参不老莓复合饮料进行的电子舌评价方法并稍加改动,设定通过电子舌甜味、酸味、苦味、涩味、咸味5个传感器评定紫玉米粉固体饮料的风味。

1.3.9 冲调稳定性的测定 参考乐梨庆等^[22]的方法进行冲调稳定性的测定(略有改动)。称取1.0 g紫玉米粉固体饮料样品分别放置于统一试管中,加入7 mL 80 °C温开水冲调并搅拌均匀,静置3 min后,测量紫玉米粉固体饮料总高度记为 H_2 ,上清液高度记为 H_1 。 K 为冲调稳定性指数, K 值越小,说明紫玉米粉固体饮料越稳定。

$$K(\%) = \frac{H_1}{H_2} \times 100$$

式中: H_1 为上清液高度; H_2 为固体饮料总高度。

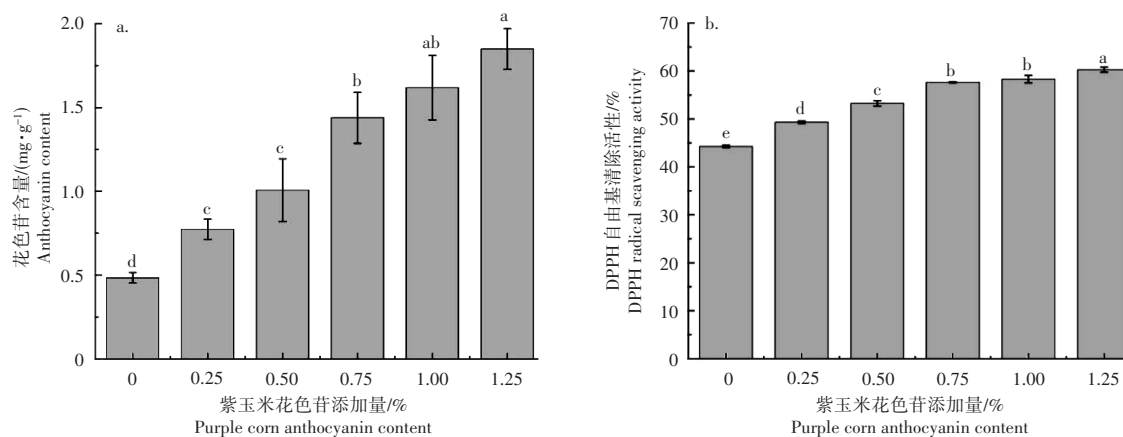
1.4 数据处理

每组试验重复3次,结果用平均值±标准差($X \pm SD$)表示,用SPSS 27进行显著性分析,使用Origin 2021、Design-Expert 13进行数据作图和分析,显著水平为 $p < 0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 紫玉米花色苷添加量对紫玉米粉固体饮料品质的影响

2.1.1 紫玉米花色苷添加量对紫玉米粉固体饮料中花色苷含量及自由基清除活性的影响 随着紫玉米花色苷添加量的增加,固体饮料中花色苷含量随之增加(图1a),即紫玉米花色苷添加量由0%增加至1.25%时,固体饮料中的花色苷含量由 $0.48 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 增加至 $1.85 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 。固体饮料DPPH自由基清除活性随花色苷含量的增加而增加(图1b),由44.26%增加至60.26%。DPPH自由基于517 nm波长处有最大吸收,在醇溶液中呈紫色^[23]。在氧化过程中,花色苷的还原性酚羟基作为供氢体,与DPPH自由基发生反应生成酚氧自由基,中断自由基链的反应,从而发挥花色苷的抗氧化作用^[24]。



同一图例不同小写字母差异显著($p < 0.05$)。下同
Different lowercase letters in the same legend are significantly different ($p < 0.05$). The same below

图1 添加紫玉米花色苷对紫玉米粉固体饮料花色苷含量及自由基清除活性的影响

Figure 1 Effects of purple corn anthocyanins on the content of anthocyanins and DPPH scavenging activity in purple corn solid beverage

2.1.2 紫玉米花色苷添加量对紫玉米粉固体饮料 α -葡萄糖苷酶抑制活性的影响 固体饮料的 α -葡萄糖苷酶抑制活性随花色苷含量的增加呈增加趋势(图2)。当紫玉米花色苷添加量由0%增加至1.25%时,固体饮料 α -葡萄糖苷酶抑制率由61.93%增加至85.27%。陈建宇等^[25]通过测定酸浆宿萼中花色苷对 α -葡萄糖苷酶的抑制能力来评价其体外降糖活性,表明其具有一定的降糖活性。通过抑制 α -葡萄糖苷酶减缓人体对淀粉及糖类的消化与吸收是减缓血糖快速升高的有效策略^[26]。花色苷能通过氢键与 α -葡萄糖苷酶的活性位点结合抑制其催化,发挥降血糖作用^[27]。

2.1.3 紫玉米花色苷添加量对紫玉米粉固体饮料感官品质的影响 随着紫玉米花色苷添加量的增加,紫玉米粉固体饮料感官评分先升高后降低(图3)。随添加量增加,固体饮料颜色逐渐加深,紫玉米香气突出,但酸涩味逐渐加重。当紫玉米花色苷添加量为0.50%时,评分最高,此时,固体饮料冲调后颜色和香气适中,原料细腻均匀、无结块,酸涩感较弱。

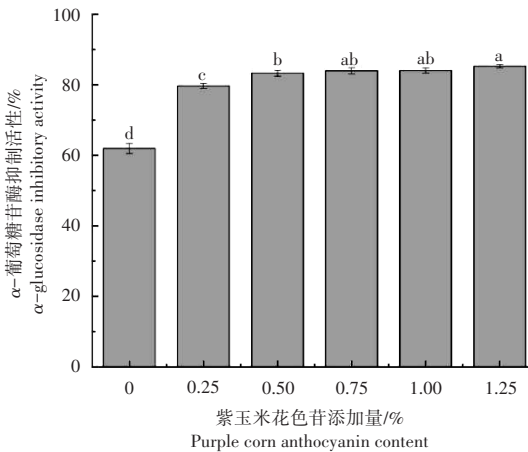


图2 添加紫玉米花色苷对紫玉米粉固体饮料 α -葡萄糖苷酶抑制活性的影响

Figure 2 Effect of purple corn anthocyanins on α -glucosidase inhibitory activity of purple corn solid beverage

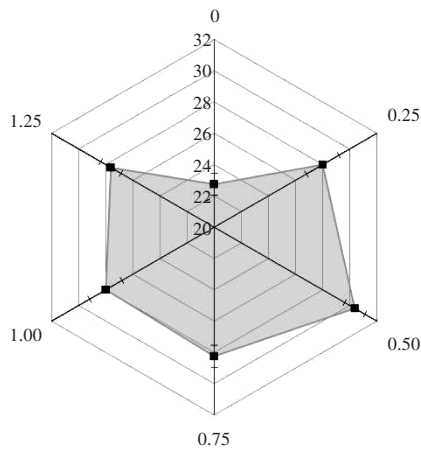


图3 添加紫玉米花色苷对紫玉米粉固体饮料感官质量影响

Figure 3 Influence of purple corn anthocyanins on sensory quality of purple corn solid beverage

2.1.4 电子舌评价紫玉米花色苷添加量对紫玉米粉固体饮料风味的影响 以甜味、酸味、苦味、涩味、咸味为指标对固体饮料风味进行电子舌评价,测定所得的数据以参比溶液为标准,得到绝对输出值^[28]。由图4可知,随紫玉米花色苷添加量的增大,固体饮料的涩味、咸味均呈现增加的趋势。甜味和酸味则因添加量不同而呈现不同变化。当添加量为0%~0.75%的范围时,固体饮料的甜味、酸味不发生显著变化。随添加量增加,固体饮料的甜味逐渐下降,酸味则增强,与感官评价结果变化趋势基本相同。

2.2 阿拉伯胶添加量对紫玉米粉固体饮料品质的影响

2.2.1 阿拉伯胶添加量对紫玉米粉固体饮料感官品质的影响 增稠剂是固体饮料的重要辅料,主要起到增稠、分散、稳定、胶凝、成膜保鲜黏合等作用,广泛应用于乳制品、面制品、果冻饮品、调味品等普通食品^[29]。阿拉伯胶的热量低,且具有较高的溶解性,良好的乳化性及亲油、亲水性,添加到固体饮料中可以增加其稳定性,使饮料更加黏稠。随着阿拉伯胶添加量增加,紫玉米粉固体饮料的感官评分也随之上升(图5),其中,随添加量增加,固体饮料由稳定性、分散性不好、易出现沉淀的状态转变为稳定

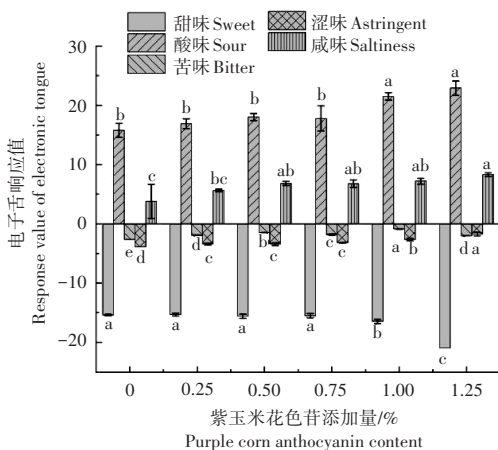


图4 添加紫玉米花色苷对紫玉米粉固体饮料风味的影响
Figure 4 Influence of purple corn anthocyanins on flavor of purple corn solid drink

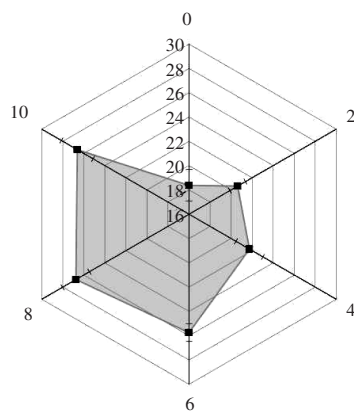


图5 添加阿拉伯胶对紫玉米粉固体饮料感官质量影响
Figure 5 Influence of Arabic gum on sensory quality of purple corn solid beverage

性高,不易出现分层的状态,由于稳定性差导致上层清液呈现淡紫色的现象转变为稳定、均匀的紫色,香气愈发浓郁,口感越来越好。

2.2.2 电子舌评价阿拉伯胶添加量对紫玉米粉固体饮料风味的影响 由图6可知,阿拉伯胶的添加量对于固体饮料的甜味、酸味无显著影响,固体饮料的苦味、涩味与咸味随阿拉伯胶添加量的增加而逐渐降低,说明阿拉伯胶的添加可以起到一定的改善固体饮料涩味、苦味、咸味等杂味的作用,与感官评价结果具有一致性。

2.2.3 阿拉伯胶添加量对紫玉米粉固体饮料冲调稳定性的影响 冲调性是指加入温开水冲调后,物料的分散性和组织状态等特性。若物料能够迅速分散、不分层或不产生沉淀,则说明其冲调性好^[30]。随着阿拉伯胶添加量由0%增加至10%,固体饮料中上清液百分比逐渐下降(图7),由88.67%降至6.00%,说明固体饮料的冲调性、分散性越来越好,品质得到明显提升。

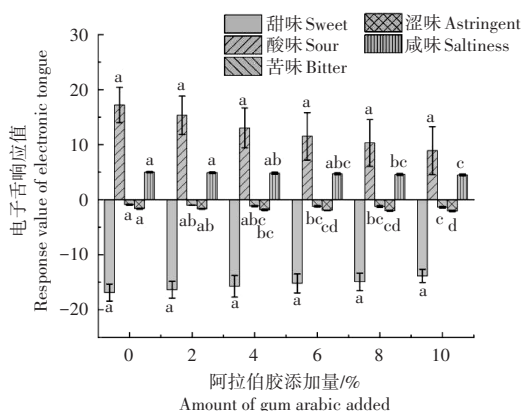


图6 添加阿拉伯胶对紫玉米粉固体饮料风味的影响
Figure 6 Effect of Arabic gum on the flavor of purple corn solid drink

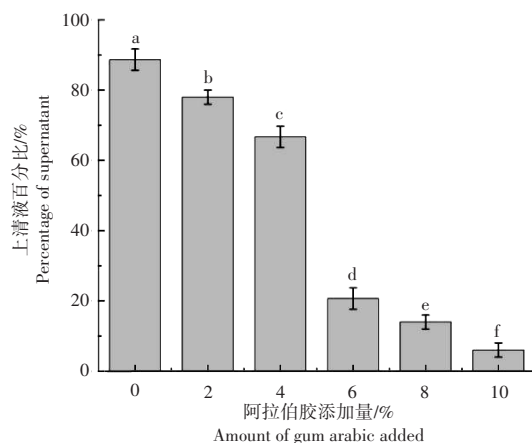


图7 添加阿拉伯胶对紫玉米粉固体饮料稳定性的影响
Figure 7 Effect of Arabic gum on stability of purple corn solid drink

2.3 甜菊糖苷添加量对紫玉米粉固体饮料品质的影响

2.3.1 甜菊糖苷添加量对紫玉米粉固体饮料感官品质的影响 甜菊糖苷是高甜度的甜味剂,甜味悠长^[31]。甜菊糖苷相当于蔗糖的200~400倍甜度,被称为“世界第三天然糖原”,目前在食品、医药等行业已被广泛应用,甜菊糖苷甜感缓慢却能持续较长的时间^[32],但用量过高可能会出现涩味。如图8所示,随甜菊糖苷添加量的上升,紫玉米粉固体饮料感官评分呈现先升高后降低的趋势,风味逐渐由酸涩感重变为酸甜可口,加入量为0.016%时,风味口感最佳,添加量增至0.020%时,固体饮料涩味过重,感官评分因此下降。

2.3.2 电子舌评价甜菊糖苷添加量对紫玉米粉固体饮料风味的影响 由图9可知,随甜菊糖苷添加量增加,固体饮料的甜味呈现升高趋势,酸味呈现下降趋势,苦味、咸味变化不明显,涩味在添加量为0~0.016%的范围内呈现下降趋势,当添加量到达0.020%时,涩味增加,与感官评价结果具有一致性,这表明甜菊糖苷在一定的添加量范围内可以有效地改善固体饮料的酸涩味,但应适量使用。

2.4 紫玉米粉固体饮料配方优化

2.4.1 紫玉米粉固体饮料感官评分响应面试验结果 由单因素试验结果,综合各个指标测定结果可以得出固体饮料中各原料适宜添加量范围分别为紫玉米花色苷添加量为0.25%、0.50%和0.75%,阿拉伯胶添加量为6%、8%和10%,甜菊糖苷添加量为0.012%、0.016%和0.020%。在此试验结果上,采用响应面分析法优化紫玉米粉固体饮料配方。试验因素和水平见表2。

根据表2中试验因素和水平,使用响应面软件设计试验,试验结果见表3。

使用 Design-Expert 13 软件对试验结果进行分析,获得的响应值感官评分(Y)对紫玉米花色苷添加量(A)、阿拉伯胶添加量(B)、甜菊糖苷添加量(C)真实值的二次回归模型方程为:

$$Y=31.08+2.31A+0.81B-1.69C+1.56AB - 0.38AC - 4.13BC - 4.94A^2 - 8.13B^2 - 0.94C^2$$

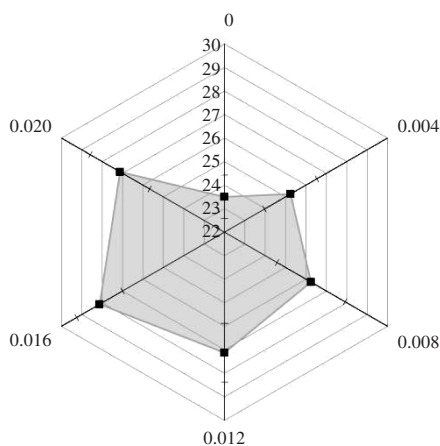


图8 添加甜菊糖苷对紫玉米粉固体饮料感官质量影响
Figure 8 Influence of stevioside addition on sensory quality of purple corn solid beverage

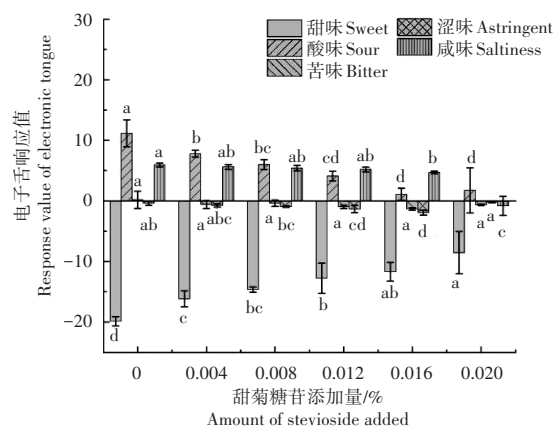


图9 添加甜菊糖苷对紫玉米粉固体饮料风味的影响
Figure 9 Effect of stevioside addition on the flavor of purple corn solid drink

表2 固体饮料响应面因素水平及编码

Table 2 Response surface factor levels and coding of solid beverage

因素 Factors	水平 Levels		
	-1	0	1
紫玉米花色苷添量/% Purple corn anthocyanin content	0.25	0.50	0.75
阿拉伯胶添加量/% Amount of gum arabic added	6	8	10
甜菊糖苷添加量/% Amount of stevioside added	0.012	0.016	0.020

表3 固体饮料响应面优化试验设计及结果

Table 3 Optimization design and results of solid beverage response surface test

试验编号 Test number	X_1	X_2	X_3	A 紫玉米花色苷添加量/% Purple corn anthocyanin content	B 阿拉伯胶添加量/% Amount of gum arabic added	C 甜菊糖苷添加量/% Amount of stevioside added	感官评分 Sensory scoring
1	1.000	-1.000	0.000	0.75	6.00	0.016	17.875
2	-1.000	-1.000	0.000	0.25	6.00	0.016	16.500
3	0.000	0.000	0.000	0.50	8.00	0.016	30.625
4	-1.000	1.000	0.000	0.25	10.00	0.016	15.000
5	0.000	0.000	-1.000	0.75	8.00	0.012	30.125
6	0.000	0.000	0.000	0.50	8.00	0.016	30.250
7	0.000	1.000	1.000	0.50	10.00	0.020	17.500
8	-1.000	0.000	1.000	0.25	8.00	0.020	21.000
9	0.000	-1.000	0.000	0.75	6.00	0.016	22.625
10	0.000	0.000	0.000	0.50	8.00	0.016	30.625
11	0.000	0.000	1.000	0.50	8.00	0.020	24.125
12	0.000	0.000	0.000	0.50	8.00	0.016	32.250
13	0.000	0.000	0.000	0.50	8.00	0.016	31.625
14	-1.000	0.000	-1.000	0.25	8.00	0.012	24.625
15	0.000	1.000	-1.000	0.50	10.00	0.012	28.125
16	0.000	-1.000	-1.000	0.50	6.00	0.012	18.250
17	0.000	0.000	1.000	0.75	8.00	0.020	25.000

为了检验回归方程的有效性,对结果进行分析。由表 4 和表 5 结果可得,回归方程模型极显著,失拟误差不显著。相关系数 R^2 为 0.991 5,校正后 R^2 为 0.980 6,变异系数小于 10%,模型相关度良好。因此,使用此回归方程可以较为准确地反映自变量与响应值的关系^[33]。

表 4 方差分析

Table 4 Variance analysis results

来源 Source	自由度 Degree of freedom	平方和 Sum of squares	均方 Mean square	F	p	显著性 Significance
模型 Model	9	561.27	62.36	90.95	<0.000 1	**
A	1	42.78	42.78	62.39	<0.000 1	**
B	1	5.28	5.28	7.70	0.03	*
C	1	22.78	22.78	33.22	0.00	**
AB	1	9.77	9.77	14.24	0.01	**
AC	1	0.56	0.56	0.82	0.40	
BC	1	68.06	68.06	99.26	<0.000 1	**
A ²	1	102.91	102.91	150.07	<0.000 1	**
B ²	1	278.39	278.39	405.98	<0.000 1	**
C ²	1	3.75	3.75	5.47	0.052	
残差 Residuals	7	4.80	0.69			
失拟误差 Error	3	2.03	0.68	0.98	0.49	不显著
纯误差 Pure error	4	2.77	0.69			No singificance
合计 Total	16	566.07				

注:*表示显著($p < 0.05$);**表示极显著($p < 0.01$)。

Note: * difference is significant ($p < 0.05$); ** difference is extremely significant ($p < 0.01$).

表 5 固体饮料感官评分模型可信度分析

Table 5 Reliability analysis of sensory scoring model for solid beverage

响应值 Response value	R^2	校正 R^2 Corvected R^2	变异系数/% Coefficient of variation
感官评分 Sensory scoring	0.991 5	0.980 6	3.38

2.4.2 紫玉米粉固体饮料感官评分 由图10和图11可知,紫玉米花色苷添加量升高,固体饮料的感官评分先增加后减小。由图11和图12可知,加入甜菊糖苷越多,感官评分随之增长后降低。由图10和图12可知,随着阿拉伯胶加入量上升,感官评分先升后降。等高线疏密程度和形状及曲面弯曲程度能够反映交互作用是否显著。由此可知,3个因素对感官评分的影响显著性大小排序为A(紫玉米花色苷添加量)>C(甜菊糖苷添加量)>B(阿拉伯胶添加量)。交互项中AB,BC对感官评分的影响极显著,而AC对感官评分的影响不显著。

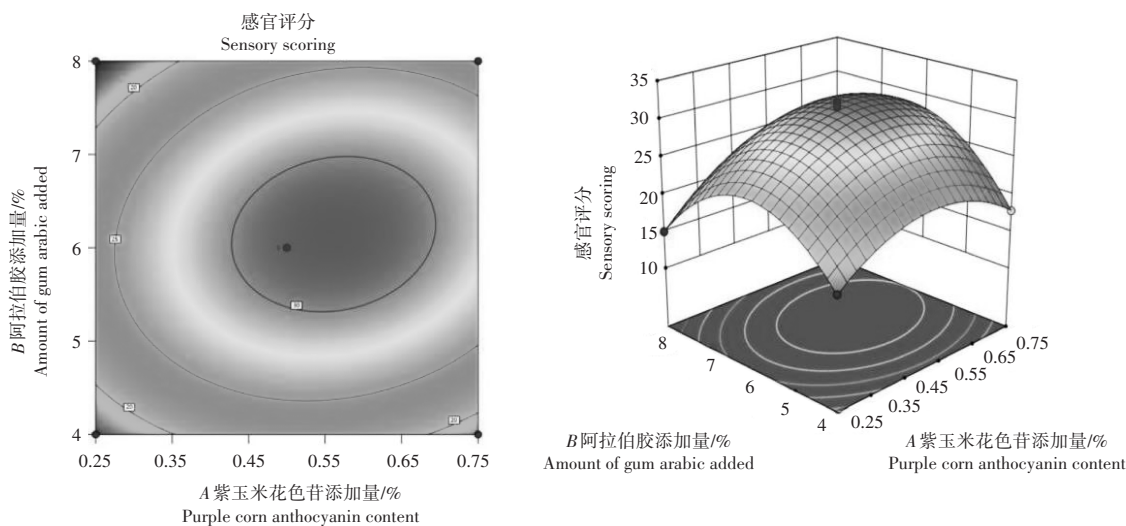


图 10 紫玉米花色苷、阿拉伯胶交互作用图

Figure 10 Interaction diagram of purple corn anthocyanins and Arabic gum

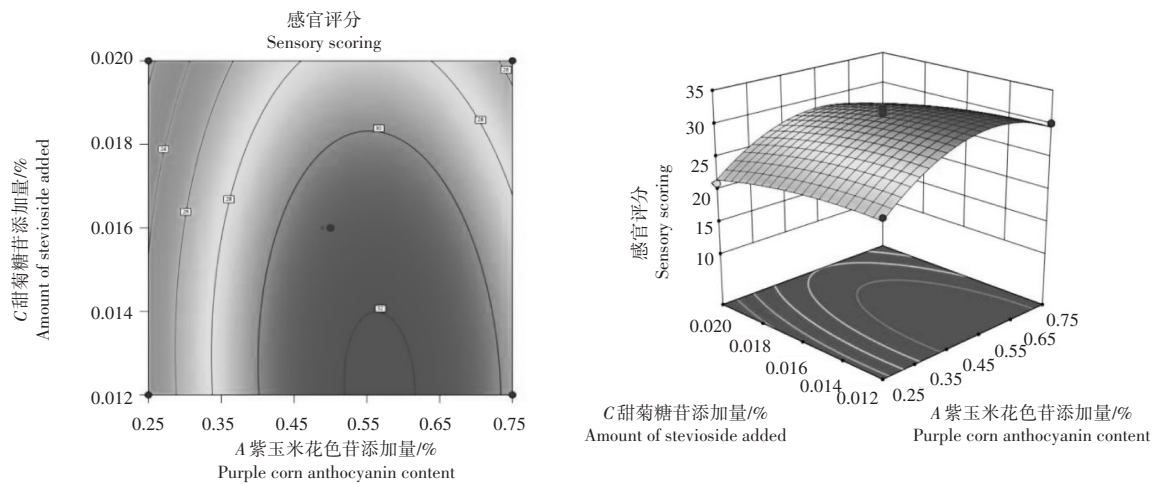


图11 紫玉米花色苷、甜菊糖苷交互作用图

Figure 11 Interaction diagram of purple corn anthocyanins and stevia glycosides

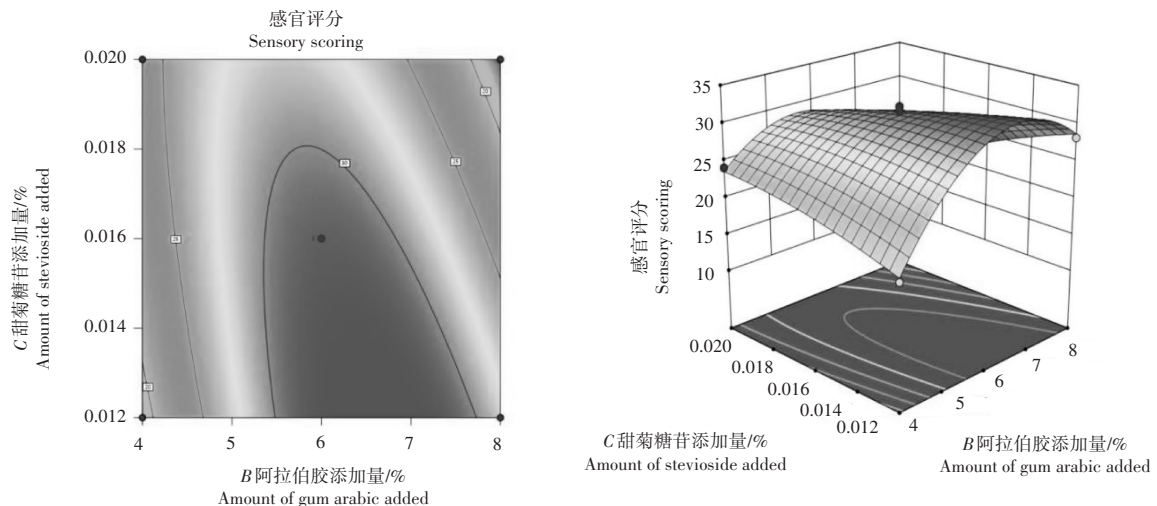


图12 阿拉伯胶、甜菊糖苷交互作用图

Figure 12 Interaction diagram of Arabic gum and stevioside

2.4.3 紫玉米粉固体饮料感官评分响应面验证试验 通过响应面法优化得到的最优紫玉米固体饮料配方为:紫玉米花色苷添加量0.518%,阿拉伯胶添加量8.437%,甜菊糖苷添加量0.014%,感官评分达到32.25。结合实际操作,优化工艺参数:紫玉米花色苷添加量0.50%,阿拉伯胶添加量8.0%,甜菊糖苷添加量0.014%,重复3次验证试验得到感官评分为32.08,达到预测值的99.47%。此时,固体饮料呈现悦目的紫色,香气浓郁,原料细腻、无结块、稳定性好,无苦味、咸味、涩味等杂味,口感协调、柔和。

3 讨论与结论

本研究单因素试验结果表明,将紫玉米花色苷添加到紫玉米粉固体饮料中,可以提高固体饮料的抗氧化活性(DPPH 自由基清除活性)、降糖活性(α -葡萄糖苷酶抑制活性),有效改善固体饮料的颜色香气等感官品质,但会引起酸、涩味。添加阿拉伯胶不仅可以提高固体饮料的冲调稳定性,而且可以改善紫玉米花色苷添加造成的固体饮料涩味、苦味;甜菊糖苷添加量小于0.020%时,可以改善花色苷添加引起的酸、涩味,但过量添加反而会加重涩味。通过单因素试验结果,选择紫玉米花色苷添加量0.25%~0.75%,阿拉伯胶添加量6%~10%,甜菊糖苷添加量0.012%~0.020%,使用响应面优化法对固体饮料配方进行优化,结合实际操作,最终将工艺参数优化为:紫玉米花色苷添加量0.50%,阿拉伯胶添加量8.0%,甜菊糖苷添加量0.014%,重复3次验证试验得到感官评分为32.08,达到预测值的

99.47%。此时,冲调后的固体饮料呈现均匀的紫色,有类似黑芝麻糊的香气,冲调稳定性好,无结块、沉底等现象,未品尝到苦味、咸味、涩味等杂味,酸甜可口,风味优良。综上所述,本研究利用紫玉米花色苷强化固体饮料品质并使用响应面优化法得到紫玉米粉固体饮料配方,为紫玉米产品的加工利用提供一定的理论依据与参考。

参考文献:

- [1] 王小星,郭冰,刘贵海,等.紫玉米研究进展综述[J].安徽农学通报,2019,25(13):65-66.
- [2] 熊本海,赵一广,罗清尧,等.中国饲料营养大数据分析平台研制[J].智慧农业(中英文),2022,4(2):110-120.
- [3] 高云.黑甜玉米的营养成分分析及开发利用[J].食品科学,2000(12):59-61.
- [4] DIAZ-GARCIA A,SALVA-RUIZ B,BAUTISTA-CRUZ N,et al.Optimization of a natural low-calorie antioxidant tea prepared from purple corn (*Zea mays* L.) cobs and stevia (*Stevia rebaudiana* Bert.)[J].LWT,2021,150:111952.
- [5] RANILLA L. G.Ancestral Peruvian ethnic fermented beverage chicha based on purple corn (*Zea mays* L.):Unravelling the health-relevant functional benefits[J].Journal of Ethnic Foods,2020,7:1-12.
- [6] DUANGKHAMCHAN W,SIRIAMOMPUN S.Quality attributes and anthocyanin content of rice coated by purple-corn cob extract as affected by coating conditions[J].Food and Bioproducts Processing,2015:96:171-179.
- [7] 杨振东,范龚健,慕妮,等.紫玉米醋苹果汁复合饮料的研制[J].食品工业科技,2009,30(6):234-236.
- [8] 李莉,李民赞,刘刚,等.中国大田作物智慧种植目标、关键技术与区域模式[J].智慧农业(中英文),2022,4(4):26-34.
- [9] 四川菊乐食品股份有限公司.一种含膳食纤维的复合紫色谷物发酵乳品及制备方法[P].中国:CN201710913995.4,2018-02-16.
- [10] LAO F,SIGURDSON G T,GIUSTI M.Health benefits of purple corn (*Zea mays* L.) phenolic compounds[J].Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety,2017,16(2):234-246.
- [11] LUNA-VITAL D A,DE MEJIA E G.Anthocyanins from purple corn activate free fatty acid-receptor 1 and glucokinase enhancing in vitro insulin secretion and hepatic glucose uptake[J].PLoS One,2018,13(7):e0200449.
- [12] MAZEWSKI C ,LIANG K ,DE MEJIA E G.Inhibitory potential of anthocyanin-rich purple and red corn extracts on human colorectal cancer cell proliferation in vitro[J].Journal of Functional Foods,2017,34:254-265.
- [13] ZHAO X ,ZHANG C ,GUIGAS C,et al.Composition, antimicrobial activity,and antiproliferative capacity of anthocyanin extracts of purple corn from China[J].European Food Research and Technology,2009,228(5):759-765.
- [14] XU H Y, LIU M H, LIU H M,et al.Anthocyanins from purple corn ameliorated obesity in high fat diet-induced obese mice through activating hepatic AMPK[J].Journal of Functional Foods,2021,84:104582.
- [15] 许志新.紫玉米穗轴与籽粒花青素的超高压提取、纯化及组分分析研究[D].长春:吉林农业大学,2019.
- [16] GAYAN C V G,WEE S C.Thermal and pH stability of natural anthocyanin colourant preparations from black goji berry[J].Innovative Food Chemistry Advances,2023,1877(4):304-312.
- [17] KUMARI P K,UMAKANTH A V,NARSAIAH T B,et al.Exploring anthocyanins, antioxidant capacity and α -glucosidase inhibition in bran and flour extracts of selected sorghum genotypes[J].Food Bioscience,2021,41:100979.
- [18] KUMAR D,KUMAR H,VEDASIROMONI J R,et al.Bio-assay guided isolation of α -glucosidase inhibitory constituents from hibiscus mutabilis leaves[J].Phytochemical Analysis,2011,23(5):421-425.
- [19] 孙军涛,张智超,秦元芳,等.速溶杂粮固体饮料研制[J].食品工业,2021,42(2):158-161.
- [20] BEMBEM K, AGRAHAR-MURUGKAR D.Development of millet based ready-to-drink beverage for geriatric population[J].Journal of Food Science and Technology,2020,57(9):3278-3283.
- [21] 刘媛媛.人参不老莓复合饮料研制及其功能性研究[D].沈阳:沈阳农业大学,2020.
- [22] 乐梨庆,万燕,向达兵,等.藜麦奇亚籽冲调粉的研制及工艺优化[J].食品工业,2020,41(8):81-85.
- [23] 薛宏坤,李鹏程,钟雪,等.高速逆流色谱分离纯化桑葚花色苷及其抗氧化活性[J].食品科学,2020,41(15):96-104.
- [24] LI J H, GUO X M, WANG R R,et al.Ultrasonic assisted extraction of anthocyanins from rose flower petal in DES system and enzymatic acylation[J].LWT,2023,180:114693.
- [25] 陈建宇,石朔,苏连玉,等.酸浆宿萼中花色苷提取工艺优化及体外降糖活性[J].人参研究,2023,35(3):37-42.
- [26] 钟凯翠,刘思炜,巫雨桐,等.海红米花色苷的提取工艺优化及其体外降糖作用研究[J].食品与发酵工业,2023.DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.035995.
- [27] YANG Y,ZHANG J L,SHEN L H,et al.Inhibition mechanism of diacylated anthocyanins from purple sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) against α -amylase and α -glucosidase[J].Food Chemistry,2021,359:129934-129934.
- [28] 江津津,贾强,李轩,等.益生菌固体饮料的味觉智能分析[J].广州城市职业学院学报,2022,16(3):68-73,96.
- [29] 柳芳伟,殷军艺,聂少平.基于多糖基增稠剂产品开发现状与发展趋势[J].中国食品添加剂,2023,34(1):37-45.
- [30] 胡毓元,杜薇,李婕好,等.婴幼儿麦胚米粉配方及其冲调性的研究[J].食品工业,2018,39(8):44-47.
- [31] 孙绍鹏,周卫强,李皓然,等.新型甜味剂甜菊糖苷产品的开发及其应用进展[J].现代食品,2020(5):45-49.
- [32] 谭家忠,廖娜,张宝堂,等.天然甜味剂的开发应用及展望[J].中国食品添加剂,2022,33(1):32-39.
- [33] 周赛楠,张青,王发合,等.响应面法优化辅助降糖降脂的海藻果蔬提取物复配配方[J].食品科学,2021,42(13):57-63.

[责任编辑 李薇]