

DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20241028008

高效液相色谱法测定蛋白粉中异麦芽酮糖含量

刘春丽*, 杨 静, 胡 杰, 卢迪勋, 陈汉峰, 黎俊威

[捷通(广州)检测技术服务有限公司, 广州 510730]

摘 要: **目的** 建立高效液相色谱法(high performance liquid chromatography, HPLC)测定蛋白粉中异麦芽酮糖含量。**方法** 样品经 50%乙腈超声萃取, 离心后取上清液, 经 0.45 μm 微孔滤膜过滤后用亲水作用色谱(hydrophilic interaction liquid chromatography column, HILIC)分离, 高效液相色谱仪-示差检测器分析。选用色谱柱 Waters XBridge HILIC (4.6 mm $\times$ 250 mm, 5 μm), 流动相: 乙腈:水=85:15 (V:V); 检测器温度为 40 $^{\circ}\text{C}$; 流速为 1.0 mL/min; 进样体积为 5 μL ; 柱温为 40 $^{\circ}\text{C}$; 运行时间为 10 min。**结果** 异麦芽酮糖在 1.96~9.80 mg/mL 范围内线性关系良好, 相关系数(r^2)为 0.9999, 回收率均大于 90% ($n=9$), 相对标准偏差为 0.65%。本方法检出限为 0.01 g/100 g, 定量限为 0.04 g/100 g。**结论** 本方法前处理方法简单, 检测灵敏度高, 稳定性好, 适用于蛋白粉样品中异麦芽酮糖含量的检测。样品使用 50%乙腈水溶解样品能较好地除去部分杂质, 同时采用 Xbridge HILIC 柱, 有较好的极性保留, 检测时间短, 分离效果好, 可以避免其他糖成分带来的干扰。

关键词: 高效液相色谱法; 异麦芽酮糖; 蛋白粉; 亲水作用色谱

Determination of isomaltulose content in protein powder by high performance liquid chromatography

LIU Chun-Li*, YANG Jing, HU Jie, LU Di-Xun, CHEN Han-Feng, LI Jun-Wei

[Access (Guangzhou) Testing Technology Service Co., Ltd., Guangzhou 510730, China]

ABSTRACT: Objective To establish a method for the determination of isomaltulose content in protein powder by high performance liquid chromatography (HPLC). **Methods** The sample was extracted by 50% acetonitrile ultrasonic extraction, centrifuged, and the supernatant was taken. It was filtered through a 0.45 μm microporous membrane and separated by hydrophilic interaction liquid chromatography column (HILIC). The sample was analyzed by high-performance liquid chromatography differential detector. Select the Waters XBridge HILIC chromatographic column (4.6 mm $\times$ 250 mm, 5 μm), mobile phase: Acetonitrile:water=85:15 (V:V); the detector temperature was 40 $^{\circ}\text{C}$; the flow rate was 1.0 mL/min; the injection volume was 5 μL ; the column temperature was 40 $^{\circ}\text{C}$; the running time was 10 minutes. **Results** The linear relationship of isomaltulose was good within the range of 1.96~9.80 mg/mL, with a correlation coefficient of 0.9999 and recovery rates greater than 90% ($n=9$). The relative standard deviation value was 0.65%. The limit of detection of this method was 0.01 g/100 g, and the limit of quantification was 0.04 g/100 g. **Conclusion** This method has a simple pre-processing method, high detection sensitivity, and good stability, and is suitable for detecting the content of isomaltulose in protein powder samples. Dissolving the sample in 50% acetonitrile water can effectively remove some impurities, while using an Xbridge

*通信作者: 刘春丽, 硕士, 中级工程师, 主要研究方向为食品和保健食品质量管理。E-mail: 1040760028@qq.com

*Corresponding author: LIU Chun-Li, Master, Intermediate Engineer, Access (Guangzhou) Testing Technology Service Co., Ltd., No.4, Shiyang Road, Huangpu District, Guangzhou 510730, China. E-mail: 1040760028@qq.com

HILIC column has good polarity retention, short detection time, good separation effect, and can avoid interference from other sugar components.

KEY WORDS: high performance liquid chromatography; isomaltulose; protein powder; hydrophilic interaction liquid chromatography column

0 引言

异麦芽酮糖(isomaltulose/palatinose, $C_{12}H_{22}O_{11} \cdot H_2O$)又名帕拉金糖,在蜂蜜和甘蔗中天然存在,它是蔗糖异构酶将蔗糖的 α -1,2糖苷键转变为 α -1,6糖苷键的一种还原性二糖。异麦芽酮糖与蔗糖和海藻酮糖互为同分异构体。异麦芽酮糖的甜味与蔗糖相似,口感好,且具有低热量、低黏度、无吸湿性、耐酸水解等优异特性^[1-6]。近年来,随着人们生活水平的提高和线上工作生活方式的普遍,由于日常饮食摄入较多糖类引起的肥胖、糖尿病、高血脂等日益成为了威胁人类健康的问题,消费者对蔗糖替代品的需求日益增加,能替代蔗糖的功能性甜味剂现在广泛受到关注。最新的研究表明,异麦芽酮糖是一种具有与蔗糖类似的感官品质,可以在小肠完全水解吸收,但是其水解速度只有蔗糖 20%~25%的功能性甜味剂,所以异麦芽酮糖的这些特性刚好可以符合糖尿病和肥胖人士使用。此外异麦芽酮糖作为食品添加剂的安全性已被接受:美国食品药品监督管理局(Food and Drug Administration, FDA)将其认证为公认安全(generally recognized as safe, GRAS)级食品添加剂,中国标准 GB 2760《食品安全国家标准 食品添加剂使用标准》也认为异麦芽酮糖可以按需添加。异麦芽酮糖不仅口感好、安全性高,而且具有低热量、保护胰岛的特性,可作为食品添加剂广泛应用于食品行业^[7-12]。

目前针对异麦芽酮糖的研究,更多的是对其构效关系以及食用是否安全性等方面做了大量的研究^[13-18],然而国内对异麦芽酮糖的测定方法报道较少。异麦芽酮糖的检测容易受到其他糖和糖醇的干扰^[19-24],而亲水作用色谱柱(hydrophilic interaction liquid chromatography column, HILIC)是互补于反相色谱(reversed phase, RP)的色谱技术,它可以提高极性非常大的物质的保留,同时还可为极性物质和可离子化物质的混合物提供正交于 RP 的分离模式。因此本研究采用 HILIC 进行分离^[25-30],并使用高效液相色谱法(high performance liquid chromatography, HPLC)-示差检测器(refractive index detector, RID)对蛋白粉中异麦芽酮糖进行测定,以期对蛋白粉中异麦芽酮糖的检测提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

市售的含有异麦芽酮糖的蛋白粉样品 A,市售的不含

有异麦芽酮糖的蛋白粉样品 B。

乙腈(色谱纯,德国默克公司);异麦芽酮糖标准品(纯度 94.6%,美国药典公司);水为符合 GB/T 6682《分析实验室用水规格和试验方法》规定的一级水。

1.2 仪器与设备

Waters Arc Premier 高效液相色谱仪(配示差检测器)、Carbohydrate (4.6 mm×250 mm, 5 μ m)、XBridge HILIC (4.6 mm×250 mm, 5 μ m)(美国沃特世公司);XPE205 分析天平(感量 0.1 mg,瑞士梅特勒-托利多国际股份有限公司);S180H 超声波振荡器(德国艾尔玛公司);Promax 振荡器(德国海道尔夫公司);3K15 离心机(美国西格玛公司);Zorbax NH₂ (4.6 mm×250 mm, 5 μ m)(美国安捷伦公司)。

1.3 实验方法

1.3.1 样品前处理

准确称取样品 1.0 g 至 50 mL 离心管;加入 25 mL 50%乙腈水溶液,放入超声波振荡器中超声提取 10 min,再以 3000 r/min 的速度离心 3 min,最后用 0.45 μ m 微孔滤膜过滤至样品瓶,供高效液相色谱仪测定。

1.3.2 溶液配制

(1)标准溶液配制

异麦芽酮糖标准储备溶液:称取约 250 mg(精确至 0.1 mg)异麦芽酮糖标准品,用流动相溶解并定容至 25 mL。

异麦芽酮糖标准品工作溶液:分别准确移取 1、2、3、4、5 mL 标准储备溶液至 5 mL 容量瓶,用流动相定容并混合均匀。

(2)流动相配制

流动相配制:量取 850 mL 乙腈加入 150 mL 水混合均匀。

(3)溶液配制

50%乙腈水溶液:乙腈和水按体积比 1:1 混合。

1.3.3 色谱条件

色谱柱: XBridge HILIC (4.6 mm×250 mm, 5 μ m); 流动相: 乙腈/水=85/15 (V/V); 检测器温度: 40 $^{\circ}$ C; 流速: 1.0 mL/min; 进样体积: 5 μ L; 柱温: 40 $^{\circ}$ C; 运行时间: 10 min。

1.4 数据处理

本研究检测数据的定性定量分析和目标物质色谱图在沃特世 Empower 3 中完成,而所有测定结果均为原始结果。数据分析利用 Microsoft Excel 365 进行,包括了数据的录入、整理、统计学分析和可视化图形的绘制。

2 结果与分析

2.1 色谱柱选择

配制一个标准品溶液和样品溶液, 分成 3 份, 分别采用 Carbohydrate (4.6 mm×250 mm, 5 μm)、Zorbax NH₂ (4.6 mm×250 mm, 5 μm) 和 Xbridge HILIC (4.6 mm×250 mm, 5 μm) 3 种色谱柱进行上机分析, 比较不同色谱柱检测的标准品和样品色谱图。

采用 Carbohydrate 的色谱柱对标准品和样品 A 进行分析的色谱图如图 1、2 所示。由图 1 可知, 标准品溶液的色谱峰出现拖尾现象, 由图 2 可知, 样品溶液中异麦芽酮糖没有与杂峰彻底分离。

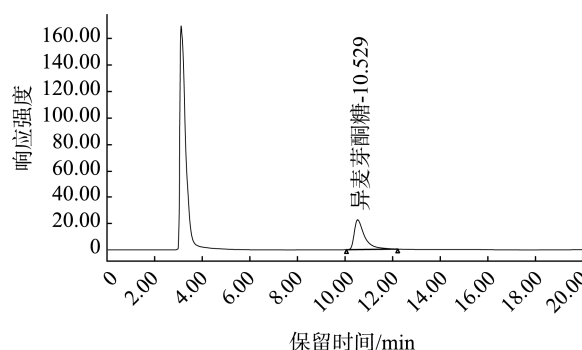


图 1 采用 Carbohydrate (4.6 mm×250 mm, 5 μm) 色谱柱的标准品色谱图

Fig.1 Chromatograms of standard by using Carbohydrate (4.6 mm×250 mm, 5 μm)

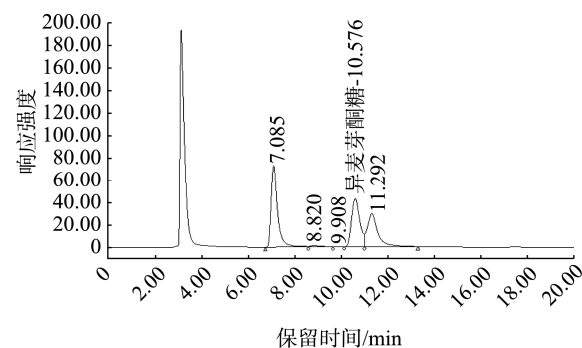


图 2 采用 Carbohydrate (4.6 mm×250 mm, 5 μm) 色谱柱的样品 A 色谱图

Fig.2 Chromatograms of sample A by using Carbohydrate (4.6 mm×250 mm, 5 μm)

采用 Zorbax 的氨基色谱柱对标准品和样品 A 进行分析的色谱图如图 3、4 所示。由图 3 可知, 标准品溶液出现了较强的拖尾效应, 由图 4 可知, 样品溶液中色谱峰同样发生了拖尾效应, 同时目标峰与杂峰未能完全分离, 保留时间较长。

采用 HILIC 色谱柱对标准品和样品 A 进行分析的色谱图如图 5、6 所示, 标准品及样品峰型较好, 样品峰与杂峰

已彻底分离, 同时保留时间较短, 能较大缩短检测时间。综合各色谱柱对目标峰的分离效果、保留时间和目标峰的峰型的影响, 本方法最终采用 XBridge HILIC 色谱柱作为分析柱。

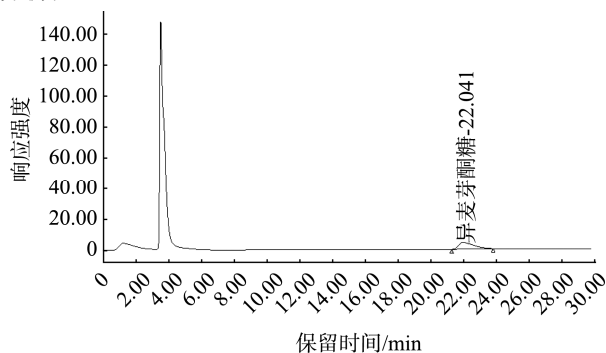


图 3 采用 Zorbax NH₂ (4.6 mm×250 mm, 5 μm) 色谱柱的标准品色谱图

Fig.3 Chromatograms of standard by using Zorbax NH₂ (4.6 mm×250 mm, 5 μm)

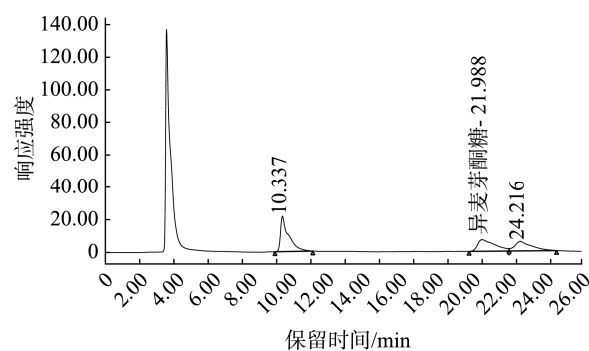


图 4 采用 Zorbax NH₂ (4.6 mm×250 mm, 5 μm) 色谱柱的样品 A 色谱图

Fig.4 Chromatograms of sample A by using Zorbax NH₂ (4.6 mm×250 mm, 5 μm)

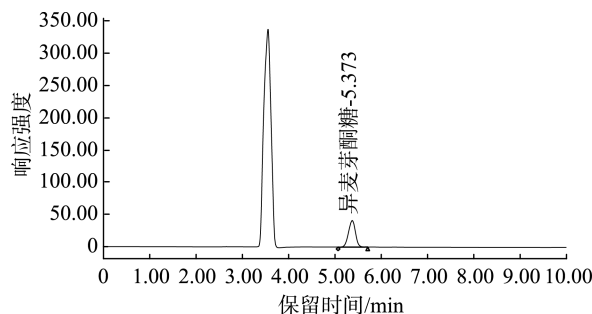


图 5 采用 Xbridge HILIC (4.6 mm×250 mm, 5 μm) 色谱柱的标准品色谱图

Fig.5 Chromatograms of standard by using Xbridge HILIC (4.6 mm×250 mm, 5 μm)

2.2 方法学考察

2.2.1 线性关系

选取 2、4、6、8、10 mg/mL 的异麦芽酮糖标准工作溶液, 按照优化好的最佳色谱条件进行测定, 以峰面积(Y)

为纵坐标,以标准稀释液质量浓度(X , mg/mL)为横坐标,绘制标准曲线,进行线性回归分析,线性回归方程为 $Y=45981X-1022.7$,相关系数(r^2)=0.9999,在 1.96~9.80 mg/mL 范围内线性关系良好。

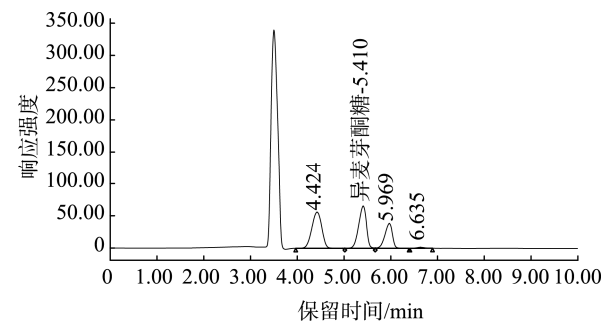


图 6 采用 Xbridge HILIC (4.6 mm×250 mm, 5 μm)色谱柱的样品 A 色谱图
Fig.6 Chromatograms of sample A by using Xbridge HILIC (4.6 mm×250 mm, 5 μm)

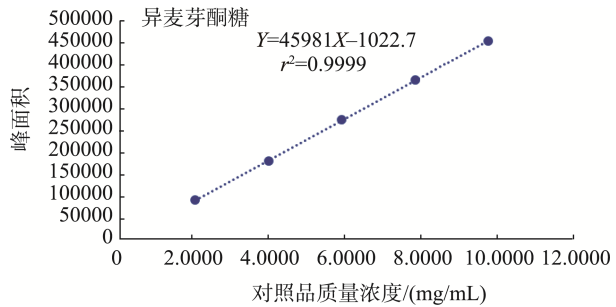


图 7 异麦芽酮糖标准物质曲线图
Fig.7 Isomaltulose standard substance curve graph

2.2.2 专属性

检查样品基质对结果是否存在干扰,使用异麦芽酮糖标准品、样品 A 和样品 B 分别配制溶液进行上机测试。结果如图 8~10 所示。由图 8 可知,标准物质目标峰出峰时间大约在 5.5 min 左右。由图 9 可知,样品 A 在 5.5 min 左右的峰型良好,没有出现肩峰等现象。由图 10 可知,阴性样品 B 在异麦芽酮糖出峰位置没有出现明显定量峰,不影响异麦芽酮糖的定量(异麦芽酮糖的保留时间约为 5.5 min)。

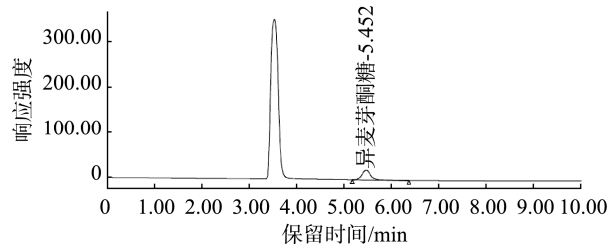


图 8 异麦芽酮糖标准物质色谱图
Fig.8 Chromatogram of isomaltulose reference material

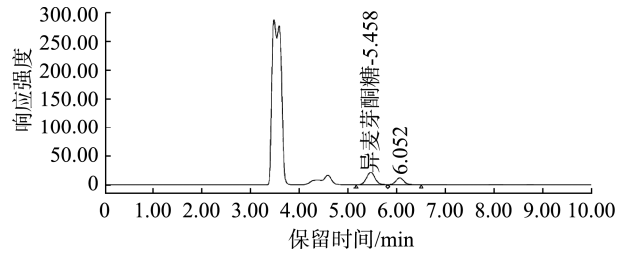


图 9 样品 A 色谱图
Fig.9 Chromatograms of sample A

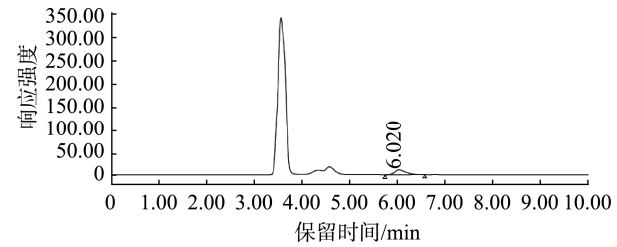


图 10 阴性样品 B 色谱图
Fig.10 Chromatograms of negative sample B

2.2.3 溶液稳定性

对照品工作溶液和样品溶液分别在放置一定时间后测定,考察目标组分峰面积的变化,结果如表 1 所示。由表 1 可见,对照品和样品 A 在 12 h 内峰面积变化较小,峰面积的相对偏差在 2%以内,说明本方法中样品 A 的上机溶液在 12 h 内稳定。因此,本方法的最终上机溶液性质稳定,在 12 h 没有发生任何性状的变化,能够满足一般检测的需求。

表 1 稳定性结果 Table 1 Results of stability				
放置 时间/h	对照品		样品 A	
	峰面积	峰面积的相对 标准偏差/%	峰面积	峰面积的相对 标准偏差/%
0	268,429	NA	266,109	NA
4	269,056	0.23	264,593	0.57
8	268,267	0.06	264,926	0.44
12	265,452	1.11	260,908	1.95

注: NA 代表不适用。

2.2.4 检出限及定量限

制备低浓度样品 A 溶液,进样得到色谱峰,计算出待测组分的信噪比(S/N)。在信噪比为 3 时,得到检出限 0.01 g/100 g;在信噪比为 10 时,得到定量限 0.04 g/100 g (称样量为 1 g,定容体积为 25 mL)。本方法的检出限及定量限能够满足正常检测的需求。

2.2.5 精密度

两个分析员分别连续测定按规定浓度配制的 6 个样

品 A, 计算 12 个测定结果的相对标准偏差, 结果如表 2 所示。12 个测定结果的相对标准偏差为 0.65%, 满足 GB/T 27417—2017《合格评定 化学分析方法确认和验证指南》中 2%的要求, 说明本方法的精密度能够满足样品检测的需求。

2.2.6 准确度

称取样品 A 约 1.0 g, 分别加入 0.4、0.7、1.0 mL 质量浓度为 96.8174 mg/mL 的加标溶液, 定容于 25 mL 容量瓶中, 每个加标水平进行 3 次平行检测, 计算加标回收率(本底值为精密度测试中 12 个测定结果的平均值)。加标回收率实验结果如表 3 所示, 可以看到 9 个加标样的回收率均在 90.61%~98.91%之间, 本方法准确率能够达到一般检测的需求。

表 2 精密度结果
Table 2 Results of precision

序号	异麦芽酮糖/(g/100 g)	
	分析员 1	分析员 2
1	13.903	13.665
2	13.720	13.635
3	13.830	13.757
4	13.723	13.564
5	13.799	13.719
6	13.717	13.768
组内平均值	13.782	13.685
组间平均值	13.733	
相对标准偏差/%	0.65	

表 3 样品 A 加标回收率实验结果
Table 3 Experiment results of sample spiked recovery

加标比率 /%	加入量 /mg	检出量 /mg	回收率 /%	回收率 平均值/%
70	38.7270	37.2738	96.25	95.46
		38.3037	98.91	
		35.3358	91.24	
100	67.7722	62.6485	92.44	91.78
		62.2892	91.91	
		61.6567	90.98	
130	96.8174	95.0516	98.18	93.72
		87.7290	90.61	
		89.4169	92.36	

3 结 论

本研究建立了 HPLC-RID 对食品中异麦芽酮糖的检测方法。HILIC 色谱柱具有实质性的优点, 可以提高极性物质(如糖和糖醇)的保留时间, 以解决极性化合物的分离难题, 并有效地缩短检测时间。而本研究考察了 C₁₈、氨基、HILIC 3 种不同填料的色谱柱对异麦芽酮糖检测的影响, 综合 3 种色谱柱的色谱峰型、色谱峰分离度、保留时间等因素, 最终

选定了 HILIC 柱为本方法的色谱柱。本方法使用 50%乙腈作为提取液, 能够保证完全提取样品中的异麦芽酮糖, 同时也对蛋白质、脂肪等杂质有很好的沉淀除杂作用。

通过对实验方法各项指标进行检测可知, 本方法的检出范围为 1.96~9.80 mg/mL、回收率均大于 90% ($n=9$)和相对标准偏差为 0.65%, 均能满足实际检测的需求。该方法实验前处理简单、分析成本较低、分析效率高, 有效地解决了传统的 HPLC 方法受糖或糖醇干扰而导致的色谱峰分离度低、保留时间过长、前处理过于复杂等缺点, 具有较好的推广价值。同时由于目前行业内蛋白粉中异麦芽酮糖没有相对应的国家标准、行业标准等标准检测方法, 因此本方法也为行业内对蛋白粉中异麦芽酮糖的检测提供参考。

参考文献

[1] 詹永, 杨勇. 功能性甜味剂在食品中的应用[J]. 中国食品添加剂, 2006, 30(3): 147-152.
ZHAN Y, YANG Y. Application of functional sweetener in food [J]. China Food Addit, 2006, 30(3): 147-152.

[2] 周泽玉, 康淞皓, 车会莲, 等. 异麦芽酮糖研究进展及其在食品加工中的应用[J]. 现代食品科技, 2024, 40(7): 1-15.
ZHOU ZY, KANG SH, CHE HL, *et al.* Research progress of isomaltulose and its application in food processing [J]. Mod Food Sci Technol, 2024, 40(7): 1-15.

[3] 吴成见. 功能性甜味剂在食品中的应用分析[J]. 营养与健康, 2017, 18: 71.
WU CJ. Application analysis of functional sweeteners in food [J]. Nutr Health, 2017, 18: 71.

[4] 高学秀, 李宁, 袁卫涛, 等. 异麦芽酮糖研究进展[J]. 中国食品添加剂, 2022, 1: 26-31.
GAO XX, LI N, YUAN WT, *et al.* Review of isomaltulose [J]. China Food Addit, 2022, 1: 26-31.

[5] 陈宁, 张佳钰, 郑明强, 等. 蔗糖异构酶在异麦芽酮糖生产中的研究进展[J]. 食品与生物技术学报, 2023, 42(1): 55-65.
CHEN N, ZHANG JY, ZHENG MQ, *et al.* Research progress of sucrose isomerase in isomaltulose production [J]. J Food Sci Biotech, 2023, 42(1): 55-65.

[6] 吴锦源, 梁梓健, 李生花, 等. 5 种功能性甜味剂对莲蓉馅料品质的影响[J]. 食品科学, 2023, 44(8): 62-70.
WU JY, LIANG ZJ, LI SH, *et al.* Effect of five functional sweeteners on the quality of lotus paste filling [J]. Food Sci, 2023, 44(8): 62-70.

[7] 陈红香, 高裕锋, 余构彬, 等. HPLC-ELSD 法测定食品中异麦芽酮糖[J]. 甘蔗糖业, 2016(1): 48-51.
CHEN HX, GAO YF, YU GB, *et al.* Determination of isomaltulose in food by HPLC-ELSD [J]. Sugar Cane, 2016(1): 48-51.

[8] 陈琳, 张大超, 童星, 等. 老年人肠道功能性固体饮料的工艺研究[J]. 食品工业, 2017, 38(12): 97-100.
CHEN L, ZHANG DCH, TONG X, *et al.* Study on the technology of elderly intestinal functional solid beverage [J]. Food Ind, 2017, 38(12): 97-100.

[9] 李明阳, 黄强, 林波. 异麦芽酮糖醇的健康效益及其在功能性食品中的应用[J]. 食品安全导刊, 2024, 10: 106-108.
LI MY, HUANG Q, LIN B. Health benefits of isomaltol and its application in functional [J]. Chin Food Saf Magaz, 2024, 10: 106-108.

- [10] ANKE S, GOH PE, 邢青斌. 异麦芽酮糖的低血糖指数特性及健康功能[J]. 中国食物与营养, 2023, 29(7): 31–35.
ANKE S, GOH PE, XING QB. Low glycemic index property and health function of isomaltulose [J]. Food Nutr China, 2023, 29(7): 31–35.
- [11] 周子涵. 异麦芽酮糖缓解小鼠结肠炎的作用及相关机制研究[D]. 青岛: 青岛大学, 2023.
ZHOU ZH. Study on the effect and related mechanism of isomaltulose in relieving colitis in mice [D]. Qingdao: Qingdao University, 2023.
- [12] 何秋玲, 张彩平, 桂静, 等. 异麦芽酮糖减少小鼠肝脏脂肪堆积的关键基因筛选与验证[J]. 食品工业科技, 2022, 43(16): 1–8.
HE QL, ZHANG CP, GUI J, *et al.* Screening and verification of key genes for isomaltulose reducing liver fat accumulation in mice [J]. Sci Tech Food Ind, 2022, 43(16): 1–8.
- [13] 刘海朋, 孙鲁, 邱学良, 等. 异麦芽酮糖溶液稳定性影响因素研究[J]. 中国食品添加剂, 2020, 10: 26–30.
LIU HP, SUN L, QIU XL, *et al.* Study on factors influencing the stability of isomaltulose solution [J]. China Food Addit, 2020, 10: 26–30.
- [14] 李敏, 尚继旭, 贾振华, 等. 蔗糖异构酶的制备及修饰研究进展[J/OL]. 食品与发酵工业, 1–10. [2024-12-03]. <https://doi.org/10.13995/j.cnki.11-1802/ts.038887>
LI M, SHANG JX, JIA ZH, *et al.* Research progress in the preparation and modification of sucrose isomerase [J/OL]. Food Ferment Ind, 1–10. [2024-12-03]. <https://doi.org/10.13995/j.cnki.11-1802/ts.038887>
- [15] 常保根. 蔗糖异构酶交联聚集体的制备及催化性能研究[D]. 天津: 天津科技大学, 2022.
CHANG BG. Preparation and catalytic performance of sucrose isomerase crosslinked aggregates [D]. Tianjin: University of Science and Technology of Tianjin, 2022.
- [16] 刘娜, 彭丹丹, 刘亚楠, 等. 异麦芽酮糖及其生产方式的研究进展[J]. 河南工业大学学报, 2021, 42(5): 123–130.
LIU N, PENG DD, LIU YN, *et al.* Research progress on isomaltulose and its production methods [J]. J Henan Univ Technol, 2021, 42(5): 123–130.
- [17] 赵文冲, 吴敬, 张康, 等. 枯草芽孢杆菌重组表达的 *Pantoea dispersa* UQ68J 蔗糖异构酶制备异麦芽酮糖的研究[J]. 食品与发酵工业, 2023, 49(23): 9–15.
ZHAO WC, WU J, ZHANG K, *et al.* Preparation of isomaltulose by *Pantoea dispersa* UQ68J sucrose isomerase recombinantly expressed in *Bacillus subtilis* [J]. Food Ferment Ind, 2023, 49(23): 9–15.
- [18] 吴彦楠. 蓝细菌光驱固碳合成异麦芽酮糖技术研究[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2023.
WU YN. Research on the carbon fixation synthesis of isomaltulose by blue bacteria optical drive [D]. Changsha: Central South University of Forestry and Technology, 2023.
- [19] 张苗苗. 三种功能性糖对面包品质的影响及抗老化研究[D]. 武汉: 武汉轻工大学, 2022.
ZHANG MM. Effects of three functional sugars on bread quality and anti-aging [D]. Wuhan: Wuhan Polytechnic University, 2022.
- [20] 耿梦华, 陈晟, 吴敬, 等. 吸附交联法固定化蔗糖异构酶及其在异麦芽酮糖制备中的应用[J]. 食品与生物技术学报, 2019, 38(4): 104–110.
GENG MH, CHEN S, WU J, *et al.* Immobilization of sucrose isomerase by adsorption and crosslinking method for the synthesis of isomaltulose [J]. J Food Sci Biol, 2019, 38(4): 104–110.
- [21] 甘宾宾, 蒋世琼. 高效液相色谱法测定帕拉金糖[J]. 广西化工, 2001, 30(3): 40–41.
GAN BB, JIANG SQ. Determination of palatinose by HPLC [J]. Guangxi Chem Ind, 2001, 30(3): 40–41.
- [22] 詹胜群, 钟娉婷, 葛城, 等. 基于酰胺基柱的 HPLC-RID 同时测定异麦芽酮糖中 5 种糖的含量及其影响因素[J]. 中国食品添加剂, 2024(2): 252–262.
ZHAN SQ, ZHONG PT, GE C, *et al.* Simultaneous determination of five sugar contents in isomaltulose by HPLC-RID based on amide column and their influencing factors [J]. China Food Addit, 2024(2): 252–262.
- [23] 李燕妹, 黄燕, 唐雯, 等. 高效阴离子交换色谱-脉冲安培法检测乳制品中 7 种稀有糖[J]. 食品科技, 2024, 49(8): 301–307.
LI YM, HUANG Y, TANG W, *et al.* Determination of seven rare sugars in dairy products by high performance anion exchange chromatography with pulsed amperometry [J]. Food Sci Technol, 2024, 49(8): 301–307.
- [24] 黄忠华, 梁智. 海藻酮糖测定方法的探讨[J]. 广西糖业, 2016, 1: 35–41.
HUANG ZH, LIANG Z. Discussion on the determination method of seaweed ketose [J]. Guangxi Sugar Ind, 2016, 1: 35–41.
- [25] 朱艳, 李先芝, 熊晓通, 等. 液相色谱法检测原酒中 7 类天然甜味剂方法的研究[J]. 酿酒科技, 2024, 9: 124–134.
ZHU Y, LI XZ, XIONG XT, *et al.* Detection of seven natural sweeteners in crude liquor by liquid chromatography [J]. Liquor-mak Sci Tecnol, 2024, 9: 124–134.
- [26] 闫晴, 聂磊, 俞所银. 示差折光高效液相色谱法测定无糖食品中的异麦芽酮糖醇[J]. 分析仪器, 2021, 6: 39–43.
YAN Q, NIE L, YU SY. Determination of isomalt in sugar-free foods by HPLC with refractive index detection [J]. Anal Instrum, 2021, 6: 39–43.
- [27] 吴锦源, 梁梓健, 李生花, 等. 5 种功能性甜味剂对莲蓉馅料品质的影响[J]. 食品科学, 2023, 44(8): 62–70.
WU JY, LIANG ZJ, LI SH, *et al.* Effect of five functional sweeteners on the quality of lotus paste filling [J]. Food Sci, 2023, 44(8): 62–70.
- [28] 梁荣荣, 李丕武, 辛跃强. 从异麦芽酮糖母液中分离异麦芽酮糖和海藻酮方法的研究[J]. 食品工业, 2016, 37(4): 74–78.
LIANG RR, LI PW, XIN YQ. A method for separation isomaltulose and trehalulose from isomaltulose mother liquor [J]. Food Ind, 2016, 37(4): 74–78.
- [29] 赵文冲, 吴敬, 张康, 等. 枯草芽孢杆菌重组表达的 *Pantoea dispersa* UQ68J 蔗糖异构酶制备异麦芽酮糖的研究[J]. 食品与发酵工业, 2023, 49(23): 9–15.
ZHAO WC, WU J, ZHANG K, *et al.* Preparation of isomaltulose by *Pantoea dispersa* UQ68J sucrose isomerase recombinantly expressed in *Bacillus subtilis* [J]. Food Ferment Ind, 2023, 49(23): 9–15.
- [30] 何秋玲, 张彩平, 桂静, 等. 异麦芽酮糖减少小鼠肝脏脂肪堆积的关键基因筛选与验证[J]. 食品工业科技, 2022, 43(16): 1–8.
HE QL, ZHANG CP, GUI J, *et al.* Screening and verification of key genes for isomaltulose reducing liver fat accumulation in mice [J]. Sci Technol Food Ind, 2022, 43(16): 1–8.

(责任编辑: 于梦娇 安香玉)

作者简介



刘春丽, 硕士, 中级工程师, 主要研究方向为食品和保健食品质量管理。
E-mail: 1040760028@qq.com