

DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20240228009

气相色谱法测定食糖中二十八烷醇含量

吴柳润^{1,2}, 杨李胜^{1,2*}, 黄敏兴^{1,2}, 黄可静^{1,2}, 薛玮琪^{1,2}, 高裕锋^{1,2}

(1. 广东省科学院生物与医学工程研究所, 广州 510316;

2. 中国轻工业甘蔗制糖工程技术研究中心, 广州 510316)

摘要: **目的** 建立气相色谱法检测食糖中二十八烷醇含量的分析方法。**方法** 将食糖样品用蒸馏溶解, 加入乙酸乙酯提取后进行减压蒸馏浓缩, 将浓缩提取液用 HP-5 (30 m×320 μm, 0.25 μm) 毛细管色谱柱分离, 用气相色谱仪检测, 外标法进行定量。**结果** 二十八烷醇标准曲线在质量浓度 10~100 mg/L 区间内呈现良好的线性关系, 得出的相关系数(r^2)大于 0.9999; 方法检出限($S/N=3$)为 0.048 mg/kg, 定量限($S/N=10$)为 0.16 mg/kg; 应用不同类型的食糖样品进行实验分析, 红糖二十八烷醇含量较其他类食糖高; 分别在样品中添加二十八烷醇标准溶液, 进行 3 水平(2、10、20 mg/kg)添加回收实验, 平均回收率为 94.7%~103.3%, 相对标准偏差为 1.73%~3.56%。**结论** 该方法样品制备简单, 准确性、重现性和回收率均符合常规检测的需要, 适用于食糖样品中二十八烷醇含量的测定。

关键词: 二十八烷醇; 食糖; 气相色谱法

Determination of octacosanol in sugar by gas chromatography

WU Liu-Run^{1,2}, YANG Li-Sheng^{1,2*}, HUANG Min-Xing^{1,2}, HUANG Ke-Jing^{1,2},
XUE Wei-Qi^{1,2}, GAO Yu-Feng^{1,2}

(1. Institute of Biological and Medical Engineering, Guangdong Academy of Sciences, Guangzhou 510316, China;

2. Research Center for Sugar Industry Engineering Technology of Light Industry of China,
Guangzhou 510316, China)

ABSTRACT: Objective To establish a method for the determination of octacosanol in sugar by gas chromatography. **Methods** The sugar samples were dissolved by distillation, extracted by adding ethyl acetate, and concentrated by distillation under reduced pressure. The concentrated extract was separated by HP-5 (30 m× 320 μm, 0.25 μm) capillary column, detected by gas chromatograph, and quantified by external standard method. **Results** The standard curve of octacosanol showed a good linear relationship in the mass concentration range of 10–100 mg/L, and the correlation coefficient (r^2) was greater than 0.9999; the detection limit of the method ($S/N=3$) was 0.048 mg/kg, and the limit of quantification ($S/N=10$) was 0.16 mg/kg. Using different types of sugar samples for experimental analysis, it was found that the octacosanol content of brown sugar was higher than other kinds of sugar; the standard solution of octacosanol were added to the samples separately, conducting 3 level (2, 10, 20 mg/kg) fortification recovery test, the average recoveries were 94.7%–103.3%, and the relative standard deviations were 1.73%–3.56%.

基金项目: 食品中功能性低聚糖色谱质谱检测技术与标准化研究项目(201806010093)

Fund: Supported by the Research on Chromatographic and Mass Spectrometry Detection Technology and Standardization of Functional Oligosaccharides in Food (201806010093)

*通信作者: 杨李胜, 工程师, 主要研究方向为食品安全检测与标准化。E-mail: 280922623@qq.com

*Corresponding author: YANG Li-Sheng, Engineer, Institute of Biological and Medical Engineering, Guangdong Academy of Sciences, Courtyard, No.10 Shiliugang Road, Haizhu District, Guangzhou 510316, China. E-mail: 280922623@qq.com

Conclusion The method is simple to prepare, the accuracy, reproducibility and recovery rate meet the needs of routine detection, and is suitable for the determination of the content of octacosanol in sugar samples.

KEY WORDS: octodecanol; sugar; gas chromatography

0 引言

二十八烷醇(octacosanol)作为一种天然广泛存在的活性有机物质,广泛分布于自然界中,是疏水烷基和亲水羟基组成的简单饱和直链醇,是天然的长链高级脂肪醇,其化学名为 1-二十八烷醇,又被称为蒙旦醇,分子式为 $C_{28}H_{58}O$, 分子量为 410.77。研究表明,二十八烷醇能保持身体机能的活力,稳定体力劳动后身体的相关功能指标^[1-5],具有缓解疲惫、降低收缩期血压、提升反应速率、缓解高强度运动带来的肌肉疼痛等多项生理功能^[6-8],有很高的应用价值,目前在食品添加剂和药物方面应用广泛^[9-11]。张泽生等^[12]开发了一种添加二十八烷醇的咖啡伴侣,它含有不到 1%的二十八烷醇粉末,具有抗疲劳、增强体力和降低胆固醇的作用,可以满足人们日常的需求。随着社会步伐的加快,人们的压力逐渐增大,经常出现心烦气躁、身体疲惫等不良反应,人们的健康观念发生转变,目光转向对身体机能具有调节作用的保健食品^[13]。而二十八烷醇作为一种安全、高效的功能性成分,在食品中适量添加,可提高食品的营养价值,食用后能缓解不良反应,此种保健食品将会备受消费者青睐,市场前景广阔。

甘蔗是天然二十八烷醇的提取原料,我国甘蔗产量丰富^[14],这为开发利用二十八烷醇创造了良好的条件。因此建立一种灵敏度高、重复性好、操作简单、快速准确且适用于批量样品的二十八烷醇检测方法具有很大的研究意义。本研究所探究的二十八烷醇化学结构如图 1 所示。就当前国内外研究而论,检测高级脂肪醇的方法主要有红外光谱法^[15-16]、液相色谱法^[17]、高效液相色谱-串联质谱法^[18]、气相色谱法^[19-24]以及气相色谱-质谱法^[25-27],这些方法在检测食品高级脂肪醇中被广泛应用。

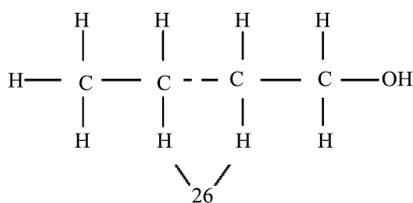


图1 二十八烷醇的化学结构

Fig.1 Chemical structure of octadecanol

目前,对食糖中烷醇类物质的检测研究文献鲜少,食糖中是否含有二十八烷醇暂无可靠研究支撑,食糖的价值没有完全被开发,不利于食糖产业的发展。本研究通过采集市售的食糖样品(红糖、赤砂糖、白砂糖和原糖),建立合适

的色谱条件,选用溶剂超声萃取法-乙酸乙酯提取的前处理方法检测不同食糖样品的二十八烷醇含量,以期为后续对市售食糖样品二十八烷醇的批量检测提供一定的技术支持。

1 材料与方法

1.1 材料、试剂与仪器

食糖样品购买于各大市场,种类包括:甘蔗红糖、红糖块、红糖粉、赤砂糖、白砂糖、原糖。

二十八烷醇标准品(纯度 93%,东京化成工业株式会社);环己烷、乙酸乙酯(色谱纯,美国 BCR 公司)。

7890B 气相色谱仪[配火焰离子化检测器(flame ionization detector, FID)]、HP-5 毛细管柱(30 m×320 μ m, 0.25 μ m)(美国安捷伦公司);UPC-I-60 超纯水机(成都超纯科技有限公司);SB25-12 DTD 超声波清洗机(宁波新芝生物科技股份有限公司);RV 8V 旋转蒸发仪、VORTEX 3 涡旋振荡器(德国 IKA 公司);X-12 台式高速冷冻离心机(美国贝克曼公司);ME2002E 电子分析天平[精度 0.01 g,梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司]。

1.2 实验方法

1.2.1 样品前处理

准确称取 10.00 g 的食糖样品于 50 mL 离心管中,用 20 mL 蒸馏水溶解,再加入 20 mL 乙酸乙酯提取液,超声 30 min 后振荡 20 min 使样品充分混匀,8000 r/min 离心 5 min 使样品分层,将上层有机相转移至 250 mL 旋蒸瓶中,下层水相继续加入 20 mL 乙酸乙酯重复上述步骤提取 2 次,合并有机相提取液。水浴温度为 30°C,将旋蒸瓶中的提取液减压蒸干后,准确加入 2.00 mL 环己烷复溶,用 0.22 μ m 微孔有机滤膜过滤,待气相色谱仪检测。

1.2.2 色谱条件

柱温:初始温度 200°C,停留 2 min,以 5°C/min 升至 320°C,停留 3 min,共 27 min,进样口气化室温度 320°C,不分流进样,检测器温度 340°C,进样量为 1 μ L。

1.2.3 标准对照品的配制

准确称量 10.75 mg(精确到 0.01 mg)二十八烷醇标准品于小烧杯中,加入 20 mL 环己烷中超声溶解,然后将其全部转移至 50 mL 容量瓶中,用环己烷定容至刻度摇匀,配制成 200 mg/L 的标准储备液备用。

1.2.4 标准工作溶液的配制

准确移取二十八烷醇标准储备液 0.5、1.0、2.0、3.0、5.0 mL,置于 10 mL 容量瓶中,用环己烷定容至刻度线摇匀,配制成 10、20、40、60、100 mg/L 的标准工作液。

1.2.5 二十八烷醇含量计算

通过二十八烷醇的标准曲线中得出相应样品色谱峰面积所对应的质量浓度, 代入公式(1)得出含量, 公式(2)计算加标回收率, 公式(3)计算相对标准偏差。

$$X = \frac{c \times v}{W} \times f \quad (1)$$

$$\text{Rec}/\% = \frac{\text{测得量} - \text{样品中的量}}{\text{加入量}} \times 100\% \quad (2)$$

$$\text{RSD}/\% = S/x \times 100\% \quad (3)$$

注: X : 样品中二十八烷醇的含量(mg/kg); c : 测定结果中二十八烷醇的质量浓度(mg/L); W : 称取食糖样品的质量(kg); v : 待测样品上机前定容体积($v=0.002$ L); f : 样品提取液的稀释倍数($f=1$); Rec : 加标回收率(%); RSD : 相对标准偏差(relative standard deviation)(%); S : 标准偏差; x : 检测平均值。

1.3 数据处理

采用 6 次重复性实验, 以外标法定量, 将数据结果代入公式(1)~(3)用 Microsoft Excel 2016 进行数据统计分析, 对二十八烷醇标准曲线进行线性回归分析。

2 结果与分析

2.1 色谱条件的优化

根据二十八烷醇属于弱极性化合物的特性, 选择 HP-5 (30 m×320 μm, 0.25 μm)毛细管色谱柱, 二十八烷醇沸点为 227°C, 通过参照 GB/T 32947—2016《蜂蜡中二十八烷醇、三十烷醇的测定 气相色谱法》设置程序升温程序进行实验, 色谱柱初始温度 220°C, 停留 1 min, 后以 5°C/min 升至 320°C, 停留 10 min。通过优化色谱柱程序升温条件, 在初始温度停留时间延长至 2 min, 终温的停留时间缩短至 3 min, 仪器采集时间变短, 实现二十八烷醇化合物的分离, 其标准品的保留时间见图 2, 食糖样品的保留时间见图 3。

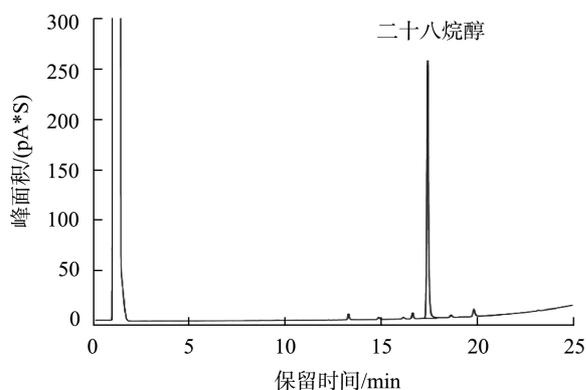


图2 二十八烷醇标准品色谱图

Fig.2 Standard product chromatogram of octadecanol

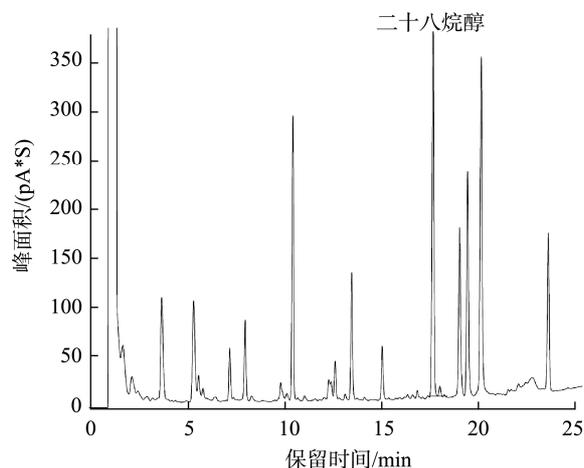


图3 食糖样品中二十八烷醇色谱图

Fig.3 Chromatogram of octadecanol in sugar sample

2.2 二十八烷醇提取方法的优化

目前样品的前处理过程是影响数据准确性和判断方法适用性的关键性因素, 所以本研究对样品目标物的提取进行了优化。二十八烷醇常用的提取溶剂有正己烷、乙酸乙酯、环己烷等, 考虑食糖样品的成分复杂, 为找到一种提取率高、损失率低且实用性强的二十八烷醇前处理提取方法, 本研究采用多个食糖样品, 两种不同的提取方法提取二十八烷醇:

(1)索氏回流萃取法。称取 20.00 g 样品, 在 70°C 水浴条件下用乙酸乙酯抽提, 回流浸提样品 6 h;

(2)溶剂超声萃取法^[28]。在超声波强化提取的条件下, 经过提取剂反复浸提, 将高级脂肪醇通过酯交换从样品中提出, 实验采用单一变量法优化提取步骤, 具体方式为:

①准确称取 10.00 g 样品于 50 mL 离心管中, 直接加入 20 mL 乙酸乙酯提取液, 超声 30 min 后振荡 20 min 使样品充分混匀, 8000 r/min 离心 5 min 使样品分层, 吸取上层有机液于 250 mL 旋蒸瓶中, 再用 20 mL 乙酸乙酯重复上述步骤提取 2 次, 合并提取液;

②准确称取 10.00 g 样品于 50 mL 离心管中, 先加入 20 mL 蒸馏水溶解食糖样品, 加入 20 mL 乙酸乙酯提取液, 超声 30 min 后振荡 20 min 使样品充分混匀, 8000 r/min 离心 5 min 使样品分层, 吸取上层有机液于 250 mL 旋蒸瓶中, 用 20 mL 乙酸乙酯重复上述步骤提取 2 次, 合并提取液;

③准确称取 10.00 g 样品于 50 mL 离心管中, 先加入 20 mL 蒸馏水溶解食糖样品, 加入 20 mL 环己烷提取液, 超声 30 min 后振荡 20 min 使样品充分混匀, 8000 r/min 离心 5 min 使样品分层, 吸取上层有机液于 250 mL 旋蒸瓶中, 用 20 mL 环己烷重复上述步骤提取 2 次, 合并提取液;

经过索氏回流萃取法检测出的样品, 检测平均值为 5.68 mg/kg, 含量较低, 说明该方法提取食糖中的二十八烷醇的效率低, S 值为 1.27, 说明该提取方法不稳定, 存在较大

误差;采用溶剂超声萃取法①的检测平均值为 8.81 mg/kg, 提取效果不太明显, S 值为 1.74, 误差最大;②和③的检测平均值和 S 值均优于①, 说明加入蒸馏水溶解后提取效果更佳, ②较③的检测平均值更高且标准偏差更低, 说明乙酸乙酯的提取效果优于环己烷。综上, 加入蒸馏水溶解后用乙酸乙酯作为提取液提取二十八烷醇的提取方法是最佳的, 结果如图 4 所示, 故最终采用溶剂超声萃取中的方法②。

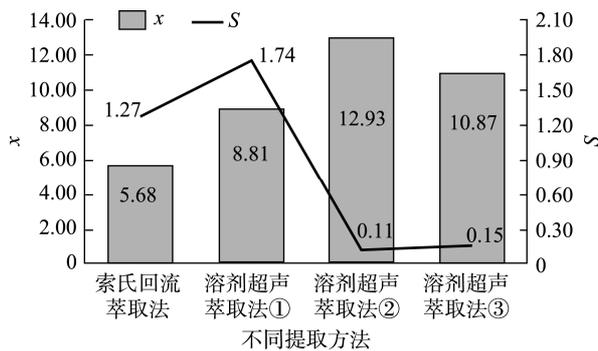


图4 4种提取方法的检测平均值和标准偏差比较图

Fig.4 Comparison chart of detection mean and standard deviation values of 4 kinds of extraction methods

2.3 标准曲线、方法检出限和定量限

将按照 1.2.4 配制的系列标准溶液上机检测, 以二十八烷醇的色谱峰面积(Y)为纵坐标, 进样质量浓度(X , mg/L)为横坐标, 进行线性回归分析。用信噪比($S/N=3$)计算检出限, 信噪比($S/N=10$)计算定量限^[29-30]。可见该方法下二十八

烷醇的回归方程为 $Y=16.992X-22.515$, 在 10~100 mg/L 的质量浓度范围呈现出良好的线性关系, 相关系数(r^2)为 0.9999, 方法的检出限为 0.048 mg/kg, 定量限为 0.16 mg/kg。

2.4 重复性和稳定性

根据 1.2.1 的前处理方法, 选同一样品在优化后的测定条件下进行 6 次重复测定, 结果如表 1, 二十八烷醇的 RSDs 为 0.37%, 表明该方法下二十八烷醇测定的重复性良好, 6 次进样后样品溶液含量稳定。

2.5 回收率和精密度

选用 2、10 和 20 mg/kg 3 个水平浓度, 每个浓度做 3 个平行, 根据 1.2.1 的前处理步骤对二十八烷醇进行加标回收率实验, 计算回收率和精密度, 得到的结果如表 2 所示。所得平均回收率在 94.7%~103.3%之间, RSDs 在 1.73%~3.56%之间, 说明该检测方法可以满足食糖中二十八烷醇含量的检测要求。

2.6 实际样品含量检测

应用所建立的气相色谱法对从市场上购买的各类食糖样品进行二十八烷醇含量的检测, 结果如表 3。检测发现红糖样品(甘蔗红糖、红糖粉、红糖块)中的二十八烷醇含量远远高于原糖、赤砂糖和白砂糖。说明在甘蔗加工过程中, 红糖样品保留了更多的糖蜜, 所以其二十八烷醇较其他类食糖样品含量高, 红糖更能将甘蔗中的二十八烷醇保留, 经过精炼后的白砂糖几乎不含二十八烷醇, 实验结果对甘蔗制糖工艺具有一定的指导意义。

表 1 二十八烷醇的精密度实验结果($n=6$)
Table 1 Precision test results of octadecanol ($n=6$)

检测值/(mg/kg)						平均值/(mg/kg)	RSD/%
1	2	3	4	5	6		
13.02	13.02	13.14	13.11	13.08	13.13	13.08	0.37

表 2 二十八烷醇回收率和精密度测定结果($n=3$)
Table 2 Method recovery rates and relative standard deviations of octadecanol ($n=3$)

本底值/(mg/kg)	添加量/(mg/kg)	检测含量/(mg/kg)	回收率/%	平均回收率/%	RSDs/%
12.92	2	14.98	103.0	103.3	3.56
		15.08	108.0		
		14.90	99.0		
	10	22.64	97.2	98.5	3.52
		23.24	103.2		
		21.98	95.6		
20	31.72	94.0	94.7	1.73	
	32.32	97.0			
		31.56	93.2		

表 3 食糖样品中二十八烷醇含量
Table 3 Content of octadecanol in sugar samples

样品	检测值/(mg/kg)			平均值/(mg/kg)	RSDs/%
	1	2	3		
甘蔗红糖	15.74	15.84	15.03	15.54	2.32
红糖粉	12.82	12.90	13.08	12.90	0.84
红糖块	27.59	27.81	27.53	27.64	0.44
赤砂糖	1.44	1.34	1.39	1.39	2.94
白砂糖	0.40	0.39	0.41	0.40	2.04
原糖	2.50	2.80	2.78	2.69	5.09

3 结论

本研究通过优化前处理过程, 建立了一种测定食糖中二十八烷醇含量的气相色谱法, 本方法检测食糖样品的前处理操作简单, 精密度和加标回收率好, 在检测样品成分复杂的食糖时灵敏度高、实用性较强、重现性好, 而且结果准确可靠, 更适合对高级脂肪醇的定量分析检测, 适用于食糖中二十八烷醇含量的批量快速检测。

参考文献

- 马丛丛, 王梓平, 许继取. 二十八烷醇的抗疲劳作用研究进展[J]. 中国食物与营养, 2021, 27(11): 41-45.
MA CC, WANG ZP, XU JC. Research progress on the anti fatigue effect of octadecanol [J]. Chin Food Nutr, 2021, 27(11): 41-45.
- 刘建平, 郭雄昌, 涂越, 等. 二十八烷醇对彭泽鲫生长性能、血液指标、耐缺氧能力以及养殖水体环境因子的影响[J]. 动物营养学报, 2021, 33(3): 1747-1754.
LIU JP, GUO XC, TU Y, et al. The effects of octadecanol on the growth performance, blood indicators, hypoxia tolerance, and environmental factors of Pengze crucian carp in aquaculture [J]. Chin J Anim Nutr, 2021, 33(3): 1747-1754.
- 钟耕, 魏益民. 含二十八烷醇油胶囊缓解体力疲劳、降血脂功能研究[J]. 中国粮油学报, 2006, 21(5): 89-92.
ZHONG G, WEI YM. A study on the relieving effect of octacosanol oil capsules on physical fatigue and lowering blood lipids [J]. J Chin Cer Oils Ass, 2006, 21(5): 89-92.
- 唐云鹏. 二十八烷醇对运动能力影响的研究[C]// 中国大学生体育协会. 第二十九届全国高校田径科研论文报告会论文集. 贵州商学院大学体育教学部, 2019: 6.
TANG YP. A study on the effect of octacosanol on exercise ability [C]// Chinese University Sports Association. Paper Album of the 29th National College Athletics Research Paper Conference. Sports Teaching Department of Guizhou University of Business, 2019: 6.
- 杨浩. 二十八烷醇的制备及其对机体能量代谢的影响和机理研究[D]. 长沙: 长沙理工大学, 2012.
YANG H. Preparation of octacosanol and its effects and mechanisms on energy metabolism in the body [D]. Changsha: Changsha University of Science and Technology, 2012.
- 王晓红, 刘进丰, 徐涛, 等. 二十八烷醇的生理功能与应用进展[J]. 中国食物与营养, 2018, 24(9): 14-20.
WANG XH, LIU JF, XU T, et al. Physiological functions and application progress of octadecanol [J]. Food Nutr Chin, 2018, 24(9): 14-20.
- 刘楚丹, 李红飞, 聂佳伟, 等. 二十八烷醇在动物机体中的生理调控功能研究进展[J]. 中国畜牧杂志, 2021, 57(7): 48-53.
LIU CD, LI HF, NIE JW, et al. Research progress on the physiological regulatory function of octadecanol in animal bodies [J]. Chin J Anim Sci, 2021, 57(7): 48-53.
- 李肖肖, 李志彬, 王芳. 稻米活性成分及其作用机制[J]. 湖北农业科学, 2020, 59(7): 20-23, 45.
LI XX, LI ZB, WANG F. Active ingredients and mechanisms of action in rice [J]. Hubei Agric Sci, 2020, 59(7): 20-23, 45.
- 马金菊, 马李一, 李凯, 等. 虫白蜡高级烷醇微乳液的制备及其在功能饮料中的应用[J]. 食品科学, 2019, 40(12): 78-84.
MA JJ, MA LY, LI K, et al. Preparation of insect white wax higher alkanol micro lotion and its application in functional beverages [J]. Food Sci, 2019, 40(12): 78-84.
- 缪书婷, 钱家祯, 卢千山, 等. 二十八烷醇微乳液的毒理学评价[J]. 食品科技, 2021, 46(3): 220-224.
Miao ST, QIAN JZ, LU QS, et al. Toxicological evaluation of octacosanol micro lotion [J]. Food Sci Technol, 2021, 46(3): 220-224.
- 涂志红, 文震, 刘佳欣, 等. 二十八烷醇微乳液的制备及其在运动饮料中的应用[J]. 中国食品学报, 2013, 13(9): 108-112.
TU ZH, WEN Z, LIU JX, et al. Preparation of octacosanol micro lotion and its application in sports drinks [J]. J Chin Inst Food Sci Technol, 2013, 13(9): 108-112.
- 张泽生, 刘薇. 含有二十八烷醇的咖啡伴侣及其制备方法, 中国: CN101204216[P]. 2008-06-25.
ZHANG ZS, LIU W. Coffee companion containing octadecanol and its preparation method, Chinese: CN101204216 [P]. 2008-06-25.
- 郭晨钰, 俞安琪, 苏安祥, 等. 保健食品贮藏过程中主要功能成分与免疫活性变化规律研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2022, 13(24): 7875-7883.
GUO CY, YU AQ, SU ANX, et al. Study on the changes of main functional components and immune activity of dietary supplement during storage [J]. J Food Saf Qual, 2022, 13(24): 7875-7883.
- 颜旭, 祁倩倩. 甘蔗产业如何“节节甜”[N]. 农民日报, 2024-04-09(8).
YAN X, QI QQ. How does the sugar cane industry “Knot sweet” [N]. Farm Daily, 2024-04-09(8).
- 孙蕊, 丛玉凤, 苏建, 等. 溶剂萃取米糠蜡及提取三十烷醇[J]. 辽宁石油化学大学学报, 2020, 40(6): 6-9.

- SUN R, CONG YF, SU J, *et al.* Solvent extraction of rice bran wax and extraction of triacontanol [J]. *J Liaoning Petrochem Univ*, 2020, 40(6): 6–9.
- [16] 伍贤学, 王光江, 朱选德, 等. 团状雪灵芝提取过程中二十八烷醇的红外光谱跟踪分析[J]. *云南民族大学学报(自然科学版)*, 2014, 23(1): 24–27.
- WU XX, WANG GJ, ZHU XD, *et al.* Infrared spectroscopic tracking analysis of octadecanol during the extraction process of Xuelingzhi in clusters [J]. *J Yunnan Minzu Univ (Nat Sci Ed)*, 2014, 23(1): 24–27.
- [17] XUE X, CHEN L, ZHOU J, *et al.* UPLC-ELSD determination of 1-octacosanol in raw material and health products [J]. *Chromatographia*, 2012, 75(3-4): 165–168.
- [18] 赵爱侠. 色谱-质谱联用新方法及其在高级烷醇分析中的应用研究[D]. 北京: 中国科学技术大学, 2018.
- ZHAO AIX. A new method of chromatography mass spectrometry and its application in analysis of higher alkanols [D]. Beijing: University of Science and Technology of China, 2018.
- [19] 黄文书, 廖晓惠, 王晨曦, 等. 气相色谱法测定番茄皮蜡中二十八烷醇的含量[J]. *中国食品添加剂*, 2010, 20(5): 220–222.
- HUANG WS, LIAO XH, WANG CX, *et al.* Determination of octacosanol content in tomato peel wax by gas chromatography [J]. *Chin Food Addit*, 2010, 20(5): 220–222.
- [20] 陈丽娥, 董晓尉, 徐广伟, 等. 米糠脂肪醇中高级脂肪醇检测方法的的研究[J]. *食品安全导刊*, 2021, (20): 66–68, 73.
- CHEN LE, DONG XW, XU GW, *et al.* A Study on the detection method of higher fatty alkanols in rice bran fatty alkanols [J]. *Chin Food Saf Magaz*, 2021, (20): 66–68, 73.
- [21] WANG MF, LIAN HZ, ZHOU LM, *et al.* Comparison of various extraction methods for policosanols from rice bran wax and establishment of chromatographic fingerprint of policosanols [J]. *J Agric Food Chem*, 2007, 55: 52–58.
- [22] 李赫宇, 王钰, 张东星, 等. 气相色谱法测定米糠脂肪醇中二十八烷醇和三十烷醇的含量[J]. *食品研究与开发*, 2020, 41(11): 179–183.
- LI HY, WANG Y, ZHANG DX, *et al.* Determination of content of octadecanol and triacontanol in rice bran fatty alcohols by gas chromatography [J]. *Food Res Dev*, 2020, 41(11): 179–183.
- [23] 傅若农. 近两年国内气相色谱的进展[J]. *分析实验室*, 2011, 30(5): 88–122.
- FU RN. The progress of gas chromatography in China in the past two years [J]. *Chin J Anal Lab*, 2011, 30(5): 88–122.
- [24] 郭焰, 李岩, 白羽嘉, 等. 新疆玫瑰花中二十八烷醇测定分析与应用研究[J]. *农产品加工*, 2017, (2): 37–39.
- GUO Y, LI Y, BAI YJ, *et al.* Analysis and application of octadecanol in Xinjiang roses [J]. *Farm Prod Proc*, 2017, (2): 37–39.
- [25] 梁涛, 赵健, 欧仕益. 蔗泥矿质元素和二十八烷醇含量的分析[J]. *广东农业科学*, 2011, 2011(7): 123–124.
- LIANG T, ZHAO J, OU SY. Analysis of mineral elements and octacosanol content in cane mud [J]. *Guangdong Agric Sci*, 2011, 2011(7): 123–124.
- [26] 袁莉, 李曹慧, 李立军, 等. 从米糠蜡中提取二十八烷醇和三十烷醇混合物[J]. *湖南理工学院学报(自然科学版)*, 2022, 35(4): 18–22.
- YUAN L, LI CH, LI LJ, *et al.* Extracting a mixture of octadecanol and triacontanol from rice bran wax [J]. *J Hunan Inst Sci Technol (Nat Sci Ed)*, 2022, 35(4): 18–22.
- [27] BUMING L, XIAOCHUAN S. Chemical constituents analysis of policosanols by GC and GC/MS [J]. *Chin J Chromatogr*, 2006, 24(2): 211.
- [28] 洪毅鸿. 涡旋-超声萃取-气相色谱/质谱联用法测定土壤中 11 种半挥发性有机物(SVOCs)[J]. *当代化工研究*, 2023, (24): 70–73.
- HONG YH. Determination of 11 kinds of volatile organic compound (SVOCs) in soil by vortex-ultrasonic extraction-gas chromatography-mass spectrometry [J]. *Contemp Chem Res*, 2023, (24): 70–73.
- [29] 张英姿, 彭小东. 气相色谱法测定白酒中正丙醇含量的研究[J]. *酿酒科技*, 2023, (9): 128–131, 136.
- ZHANG YZ, PENG XD. Study on the determination of n-propanol in baijiu by gas chromatography [J]. *Liquor-Making Sci Technol*, 2023, (9): 128–131, 136.
- [30] 郝兰, 俞存兵, 郭忠, 等. 顶空-气相色谱法测定南极磷虾油中有机溶剂残留量[J]. *食品安全质量检测学报*, 2024, 15(2): 105–111.
- HAO L, YU CB, GUO Z, *et al.* Determination of residual organic solvents in Antarctic krill oil by headspace-gas chromatography [J]. *J Food Saf Qual*, 2024, 15(2): 105–111.

(责任编辑: 于梦娇 蔡世佳)

作者简介



吴柳润, 助理工程师, 主要研究方向为食品安全检测与标准化。
E-mail: 2503194160@qq.com



杨李胜, 工程师, 主要研究方向为食品安全检测与标准化。
E-mail: 280922623@qq.com