

# 气相色谱-串联质谱法测定植物源性运动食品中肌醇含量

赵统<sup>1\*</sup>, 董利民<sup>2</sup>

(1. 河南中医药大学体育学院, 郑州 450046; 2. 河南农业大学食品科学技术学院, 郑州 450046)

**摘要:** **目的** 建立气相色谱-串联质谱法(gas chromatography-tandem mass spectrometry, GC-MS/MS)测定植物源性运动食品中肌醇含量的分析方法。**方法** 样品经纯水提取后加入 3.0 mL 硅烷化试剂( $V_{\text{三甲基氯硅烷}}:V_{\text{六甲基二硅胺}}=1:3$ , 现配现用)于 85 °C 水浴中衍生 75 min; 衍生溶剂经 PestiCarb/NH<sub>2</sub> 固相萃取小柱由洗脱溶剂正己烷-丙酮(6:4, V:V)混合溶剂洗脱净化浓缩后经仪器测定。**结果** 植物源性运动食品中肌醇在质量浓度为 0~5.0 µg/mL 范围内线性关系良好, 相关系数( $r$ )为 0.999, 在不同基质中方法检出限为 0.81~1.01 mg/100 g、方法定量限为 2.69~3.11 mg/100 g, 加标平均回收率为 81.67%~97.45%, 相对标准偏差为 1.23%~8.56% ( $n=6$ )。**结论** 该方法前处理简单便捷、灵敏度高、回收率稳定、定量准确, 能快速检测样品中肌醇含量, 完全适用于不同基质的植物源性运动食品中肌醇含量的测定。

**关键词:** 植物源性运动食品; QuEChERS; 气相色谱-串联质谱法; 肌醇

## Determination of inositol content in plant-derived sports foods by gas chromatography-tandem mass spectrometry

ZHAO Tong<sup>1\*</sup>, DONG Li-Min<sup>2</sup>

(1. School of Physical Education, Henan University of Medicine, Zhengzhou 450046, China;  
2. College of Food Science and Technology, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450046, China)

**ABSTRACT: Objective** To establish a method for the determination of inositol content in plant-derived sports foods by gas chromatography-tandem mass spectrometry. **Methods** The sample was extracted with pure water by 3.0 mL silanization reagent ( $V_{\text{trimethylchlorosilane}}:V_{\text{hexamethyldisilazane}}=1:3$ , ready to use) derivatize in a water bath at 85 °C for 75 min; the derivatized solvent was passed through a PestiCarb/NH<sub>2</sub> solid phase extraction cartridge by the elution solvent *n*-hexane-acetone (6:4, V:V). The mixed solvent was eluted, purified and concentrated, and then measured by the instrument. **Results** The results showed that the inositol in plant-derived sports food had a good linear relationship within the mass concentration range of 0~5.0 µg/mL, the correlation coefficient ( $r$ ) was 0.999, and the limits of detection of the method in different matrices were 0.81~1.01 mg/100 g, the limits of quantification of the method were 2.69~3.11 mg/100 g, which met the demand of trace detection, the average recoveries of standard addition were 81.67%~97.45%, and the relative standard deviations were 1.23%~8.56% ( $n=6$ ). **Conclusion** The

**基金项目:** 河南省教育厅人文社会科学研究项目(2021-ZZJH-200)、河南中医药大学高层次人才引进与培养专项(00104311-2020-1)

**Fund:** Supported by the Humanities and Social Sciences Research Project of Henan Provincial Department of Education (2021-ZZJH-200), and the Special Project for the Introduction and Cultivation of High-level Talents of Henan University of Traditional Chinese Medicine (00104311-2020-1)

**\*通信作者:** 赵统, 博士, 讲师, 主要研究方向为体育教学训练与理论研究。E-mail: zhaotong202111@126.com

**\*Corresponding author:** ZHAO Tong, Ph.D, Lecturer, Henan University of Traditional Chinese Medicine, No.156, Jinshui East Road, Zhengdong New District, Zhengzhou 450046, China. E-mail: zhaotong202111@126.com

method is simple and convenient for pretreatment, high sensitivity, stable recovery, and accurate quantification. It can quickly detect the content of inositol in samples and is completely suitable for the determination of inositol content in plant-derived sports foods with different substrates.

**KEY WORDS:** plant-derived sports food; QuEChERS; gas chromatography-tandem mass spectrometry; inositol

## 0 引言

肌醇又名环己六醇,是环己烷的多元羟基衍生物<sup>[1]</sup>,易溶于水,微溶于乙醇,是一种广泛存在于动物和植物体内中结构类似于葡萄糖的物质,对其动植物体内代谢十分重要<sup>[2-3]</sup>。研究表明肌醇具有提高免疫、预防和治疗某些疾病等多种作用,可促进肝中脂肪代谢,从而降低血脂、治疗肝炎等<sup>[4-6]</sup>。肌醇可深加工为肌醇有机酸脂、肌醇甲基醚、磷酸肌醇脂等产品,在医药、化工、能源等工业上都有很大的实用价值<sup>[7-8]</sup>。因此建立一种肌醇快速检测方法具有重要的实际意义,本研究主要探究植物源性运动食品中肌醇含量的检测。据文献报道,目前对肌醇的检测方法主要有离子色谱法<sup>[9]</sup>、毛细管电泳法<sup>[10]</sup>、气相色谱法<sup>[11]</sup>、液相色谱-串联质谱法<sup>[12]</sup>、高效液相色谱法<sup>[13]</sup>、气相色谱-质谱法<sup>[14]</sup>和微生物法<sup>[15]</sup>等,从国内现有相关的法规和标准来看,GB 5009.270—2016《食品安全国家标准 食品中肌醇的测定》规定了食品中肌醇含量测定的指标<sup>[15]</sup>,标准中第一法微生物法对肌醇含量检测的样品未作限制,适用于所有食品,但其检测周期长,无法满足多批次检测效率需求;标准第二法气相色谱法适用于婴幼儿食品、乳品及饮料中肌醇的测定,对检测样品已作限定。在现有文献报道中尚未发现针对植物源性运动食品中肌醇采用 QuEChERS 前处理技术结合气相色谱-串联质谱法(gas chromatography-tandem mass spectrometry, GC-MS/MS)分析研究的报道。因此本研究通过考察基质效应、衍生及净化条件,系统优化植物源性运动食品中肌醇分析检测的最优参数,建立了测定植物源性运动食品中肌醇含量的气相色谱-串联质谱法,以期对植物源性运动食品中肌醇的检测提供参考。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材料与试剂

大豆低聚肽运动营养粉、小麦乳清蛋白粉运动营养粉、玉米肽运动营养粉、花生低聚肽运动营养粉:市售。

肌醇标准品(纯度 $\geq 99.98\%$ ,德国 Dr.Ehrensorfer 公司);水为 GB/T 6682—2008《分析实验室用水规格和实验方法》规定一级水(河南中医药大学);三氯乙酸、无水乙醇、正己烷、丙酮、乙酸乙酯(分析纯,国药集团化学试剂有限公司);N,N-二甲基甲酰胺(纯度 $\geq 99.5\%$ ,上海鼓臣生物技术有限公司);三甲基氯硅烷(纯度 $\geq 98.5\%$ ),六甲基二硅胺烷(纯度 $\geq 99.6\%$ )(南京优普化工有限公司);PestiCarb/NH<sub>2</sub>、

Sep-Pak®C<sub>18</sub>、Florisil、Cleanert TPT 固相萃取小柱[赛默飞世尔科技(中国)有限公司];0.22  $\mu\text{m}$  微孔滤膜(日本 Shimadzu 公司)。

### 1.2 仪器与设备

7010B 气相色谱-三重四极杆串联质谱仪(美国安捷伦科技有限公司);AUX220 分析天平(精密度为 0.0001 g,岛津企业管理有限公司);TTL-260 全自动均质器(北京同泰联科技发展有限公司);Fritsch 可变速高速旋转粉碎机(北京飞驰科学仪器有限公司);WB-502S 水浴箱(广东环凯生物科技有限公司);Eppendorf 5427 台式高速冷冻离心机(上海卢湘仪离心机仪器有限公司);STRIKE 280 旋转蒸发仪(北京优莱博技术有限公司);HAC-24A 恒奥自动氮吹浓缩仪(天津市恒奥科技发展有限公司)。

### 1.3 实验方法

#### 1.3.1 样品前处理

提取:称取 1.0 g(精确至 0.001 g)样品粉末于 50 mL 容量瓶中,加入 40 °C 12 mL 水溶解样品,充分摇匀后,再加入 1%的三氯乙酸 5 mL,将其在提取功率 150 W、提取温度 80 °C 条件下超声辅助提取 10 min,提取完毕后用 95%乙醇定容至刻度,混匀,吸取 10 mL 样品提取液于离心管中,以 6000 r/min 离心 8 min,吸取上清液 5 mL 于旋转蒸馏瓶中,向其加入 10 mL 无水乙醇,于 85 °C 水浴锅中浓缩至近干,转移浓缩瓶于 100 °C 烘箱中烘干 50 min,加入 10 mL N,N-二甲基甲酰胺,涡旋振荡 5 min 以溶解残渣,待衍生。

衍生:将上述提取液转移至 25 mL 离心管中,加入 3.0 mL 硅烷化试剂( $V_{\text{三甲基氯硅烷}}:V_{\text{六甲基二硅胺烷}}=1:3$ ,现配现用)后于 85 °C 水浴中衍生 75 min,每间隔 15 min 取出振荡 1 次,取出冷却至室温加入 5 mL 正己烷混匀后氮吹至近干,加入 1 mL 正己烷-丙酮(6:4, V:V)混合溶液溶解残渣,待净化。

净化:用 5 mL 正己烷-丙酮(6:4, V:V)混合溶液活化固相萃取小柱,将待净化液转移至固相萃取小柱中,收集净化液于试管中,继续用 5 mL 正己烷-丙酮(6:4, V:V)混合溶液洗脱固相萃取小柱,收集洗脱液。合并净化液与洗脱液后氮吹至近干,用 1 mL 正己烷涡旋溶解提取物后,过 0.22  $\mu\text{m}$  有机滤膜,待测。

#### 1.3.2 标准溶液的配制

将肌醇标准品于 105 °C 下烘干至恒重,准确称取 10 mg(精确至 0.001 g)肌醇标准品于 100 mL 容量瓶中,用 25 mL 水溶解后,再用 95%的乙醇定容至刻度,即得质量浓度为 100 mg/L 肌醇标准储备液 A。吸取 1 mL 肌醇标准储备

液 A 于 10 mL 容量瓶中, 用 75% 乙醇溶液定容至刻度, 即得质量浓度为 10  $\mu\text{g/mL}$  肌醇标准储备液 B。分别吸取不同体积的肌醇标准储备液 B 于 25 mL 离心管中, 按照 1.3.1 衍生步骤操作, 即得质量浓度 0、0.1、0.5、1.0、2.0 和 5.0  $\mu\text{g/mL}$  的标准曲线工作液。

### 1.3.3 仪器条件

(1) 气相色谱条件: 毛细管柱: DB-5 ms (30 m $\times$ 0.25 mm, 0.25  $\mu\text{m}$ ); 载气: 氦气, 纯度 $\geq$ 99.999%; 进样模式: 不分流; 色谱柱温度: 初始温度 80  $^{\circ}\text{C}$ , 保持 1.5 min, 以 15  $^{\circ}\text{C}/\text{min}$  的速率升温至 120  $^{\circ}\text{C}$ , 保持 1 min, 再以 20  $^{\circ}\text{C}/\text{min}$  的速率升温至 260  $^{\circ}\text{C}$ , 保持 7 min; 柱流量: 1.01 mL/min; 进样口温度: 280  $^{\circ}\text{C}$ ; 溶剂延迟时间: 3 min; 进样量: 1  $\mu\text{L}$ 。

(2) 质谱条件: 碰撞诱导解离 (collision induced dissociation, CID) 气: 氩气, 纯度 $\geq$ 9.999%; 电离能量: 70 eV; 接口温度: 280  $^{\circ}\text{C}$ ; 离子源温度: 285  $^{\circ}\text{C}$ ; 检测器电压 (相对于调谐结果): 0.4 kV; 扫描模式: 多反应监测 (multiple reaction monitoring, MRM) 模式; 选择检测离子  $m/z$  612、432、305、217、147; 定量离子  $m/z$  305。

## 1.4 回收率实验

向检测样品中添加一定浓度的肌醇标准溶液, 按照 1.3.1 的步骤对样品进行前处理, 做 3 平行实验, 取其平均值计算其加标回收率, 其计算公式如式(1)<sup>[16-17]</sup>:

$$D/\% = \frac{d_s - d_p}{d_a} \times 100\% \quad (1)$$

式中:  $D$  为加标回收率, %;  $d_s$  为检测样品中加肌醇标准溶液的测定值, mg/100 g;  $d_p$  为检测样品本底值, mg/100 g;  $d_a$  为理论加标值, mg/100 g。

## 1.5 数据处理

所有数据均为 3 次平行实验的平均值, 应用 Microsoft Excel 2016 及 SPSS 19.0 软件对实验数据进行分析; Origin 8.0 软件作图。

## 2 结果与分析

### 2.1 肌醇标准溶液及阳性样品中肌醇总离子流色谱图

分别选取肌醇标准溶液及阳性样品按照上述方法对其前处理及上机分析。其肌醇标准溶液上机分析可得到较为理想的峰形及信噪比, 使得肌醇目标峰在色谱上分离较好, 峰形尖锐对称, 结果见图 1。食品色谱分析中并肩峰对其检测目标组分的定量分析结果影响较大, 通过该方法检测阳性样品中肌醇目标峰的结果见图 2。由图 2 可知, 在 4 种不同样品基质中肌醇目标峰在色谱上分离较好, 没有与基质其他组分峰形成并肩峰, 由此可知, 该方法定量结果准确, 可以用于相应样品肌醇含量的检测分析。

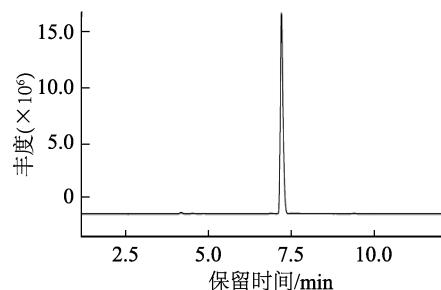


图 1 肌醇标准溶液总离子流色谱图(1.0  $\mu\text{g/mL}$ )  
Fig.1 Total ion flow chromatogram of inositol standard solution (1.0  $\mu\text{g/mL}$ )

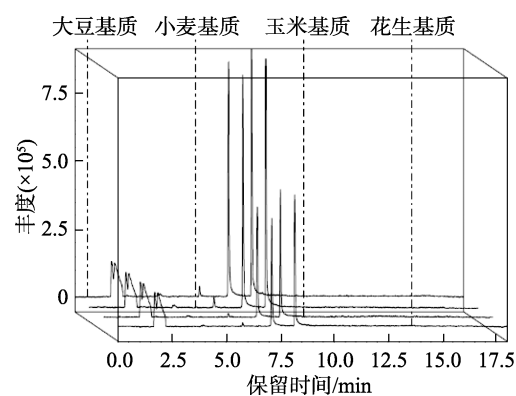


图 2 阳性样品中肌醇总离子流色谱图  
Fig.2 Total ion flow chromatogram of inositol in positive samples

## 2.2 基质效应

在分析检测中基质效应普遍存在, 会对目标成分分析方法的准确度、灵敏度、重复性等产生影响, 表现为基质抑制或增强效应, 为检测基质效应对肌醇检测结果的影响, 本研究采用空白基质溶液匹配标准曲线以及溶剂匹配标准曲线的斜率比值来判断基质效应对检测结果的影响<sup>[18-20]</sup>, 基质效应=基质匹配校准曲线斜率/溶剂匹配标准曲线的斜率, 比值越接近 1, 则基质效应对检测结果影响越小, 反之亦然。由表 1 可知, 4 种不同基质对肌醇检测结果影响较小, 可以不用考虑基质效应的影响。

## 2.3 衍生条件的优化

查文献可知<sup>[21-23]</sup>, 衍生条件对样品中肌醇检测结果影响较大, 故分别选取三甲基氯硅烷与六甲基二硅胺烷的配比、衍生温度以及衍生时间作为衍生条件的 3 因素, 设计了三因素三水平的正交实验, 其结果见表 2。由表 2 可知, 最优衍生条件为  $V_{\text{三甲基氯硅烷}}:V_{\text{六甲基二硅胺烷}}=1:3$ 、衍生温度为 85  $^{\circ}\text{C}$ 、衍生时间 75 min。按该条件下进行 3 次平行衍生实验取平均值进行回收率计算, 样品肌醇的回收率为 98.56%, 此值高于其他衍生条件所测结果, 因此确认该条件为其最优衍生条件。

表 1 4 种不同本底的基质效应

Table 1 Matrix effects of 4 kinds of different backgrounds

序号	基质	基质线性方程	溶剂线性方程	基质效应
1	大豆基质	$Y=6021.78X-120.15$		0.997
2	小麦基质	$Y=6121.58X-98.37$		1.013
3	玉米基质	$Y=5901.33X-100.19$	$Y=6041.21X-104.12$	0.977
4	花生基质	$Y=6291.58X-110.47$		1.041

表 2 样品中肌醇检测条件优化实验结果与分析

Table 2 Test results and analysis of optimized test conditions for inositol detection in samples

实验号	V <sub>三甲基氧硅烷</sub> : V <sub>六甲基二硅酸铵</sub>	温度/°C	时间/min	肌醇平均 回收率/%
1	1:2	75	60	86.15
2	1:2	85	75	80.78
3	1:2	95	90	88.25
4	1:3	75	90	92.24
5	1:3	85	75	98.56
6	1:3	95	60	86.45
7	1:4	75	90	85.15
8	1:4	85	60	83.56
9	1:4	95	75	79.38
$K_1$	85.06	87.85	85.39	
$K_2$	92.42	87.63	86.24	
$K_3$	82.70	84.69	88.55	
极差 $R$	9.70	3.16	3.31	

## 2.4 净化条件的确定

样品基质所含成分不同, 需要根据基质成分性质选择不同净化小柱及洗脱溶剂。本研究对比 PestiCarb/NH<sub>2</sub>、Sep-Pak<sup>®</sup>C<sub>18</sub>、Florisil 和 Cleanert TPT 固相萃取小柱, 分别使用不同洗脱溶剂: 乙酸乙酯、丙酮、正己烷、正己烷-丙酮(6:4, V:V)进行考察, 实验发现用正己烷-丙酮(6:4, V:V)混合溶剂进行洗脱, 肌醇回收率相对其他 3 种洗脱溶剂的

回收率较高, 且干扰杂质较小。在洗脱溶剂确定的前提下分别对比 4 种固相萃取小柱的净化情况, 由实验结果(表 3)可知, 固相萃取小柱为 PestiCarb/NH<sub>2</sub>、洗脱溶剂为正己烷-丙酮(6:4, V:V)混合溶剂, 得到回收率在考察因素中最高, 故该因素为净化条件。

表 3 净化条件的选择

Table 3 Selection of purification conditions

SPE 小柱	回收率/%			
	乙酸乙酯	丙酮	正己烷	正己烷- 丙酮(6:4, V:V)
PestiCarb/NH <sub>2</sub>	81.25	82.45	81.54	97.56
Sep-Pak <sup>®</sup> C <sub>18</sub>	79.98	86.65	83.45	96.45
Florisil	85.46	81.45	88.58	89.65
Cleanert TPT	86.55	84.78	91.25	90.12

## 2.5 方法验证

### 2.5.1 线性关系及检出限、定量限

由 2.1 可知, 基质效应对不同样品中肌醇的检测结果影响不大, 故选择溶剂匹配标准工作溶液绘制校准曲线, 在 4 种不同基质中分别添加适量浓度肌醇标准溶液, 即加标浓度为 0.025 mg/100 g, 按照 1.3.1 进行样品处理, 以其 3 倍信噪比计算检出限<sup>[24-27]</sup>; 10 倍信噪比计算定量限<sup>[28-30]</sup>。由表 4 可知, 在质量浓度为 0~5.0 μg/mL 范围内线性关系良好, 相关系数( $r$ )为 0.999, 在不同基质中方法检出限为 0.81~1.01 mg/100 g、方法定量限为 2.69~3.11 mg/100 g, 满足痕量检测需求。

表 4 肌醇的线性方程及相关信息

Table 4 Linear equations and related informations of inositol

化合物	基质	线性方程	相关系数( $r$ )	检出限/(mg/100 g)	定量限/(mg/100 g)
肌醇	大豆基质		0.9998	0.89	3.11
	小麦基质			0.83	2.89
	玉米基质	$Y=6041.21X-104.12$		1.01	3.04
	花生基质			0.81	2.69

### 2.5.2 准确度与精密度

分别在4种不同基质中添加不同浓度的肌醇溶液, 获得浓度分别为20、40、60 mg/100 g的3个水平, 每个水平做6个平行, 测定其加标回收率及相对标准偏差(relative standard deviations, RSDs)。由表5可知, 4种基质中肌醇在3个加标水平的平均回收率为81.67%~97.45%, 相对标准偏差为1.23%~8.56%, 符合GB/T 27404—2008《实验室质量控制规范 食品理化检测》中相应参数要求, 表明所建立的方法科学可行, 可用于实际样品的检测。

### 2.6 实际样品的检测

用上述所建立的方法对市售4种不同基质的植物源性运动食品进行肌醇测定, 分别称取不同基质的样品1.0 g(精确至0.001 g), 按照1.3方法进行操作处理, 其检测结果分别是: 大豆低聚肽运动营养粉中肌醇含量为35.45 mg/100 g、小麦乳清蛋白粉运动营养粉中肌醇含量为20.14 mg/100 g、玉米肽运动营养粉中肌醇含量为41.13 mg/100 g、花生低聚肽运动营养

粉中肌醇含量为31.54 mg/100 g。

## 3 结论与讨论

本研究采用QuEChERS前处理技术结合气相色谱-串联质谱法对不同基质的植物源性运动食品中所含肌醇进行测定。通过优化样品前处理方法, 分别考察基质效应、优化衍生条件、确定净化条件, 选择适合的衍生条件及净化条件, 建立一种测定植物源性运动食品中肌醇含量的方法。该方法基质效应对肌醇检测结果影响较小, 故实验中不考虑基质效应对其结果的影响; 通过优化衍生条件及净化条件, 确定其检测最优参数, 该方法与GB 5009.270—2016传统方法比较提高了食品中肌醇检测效率、扩大了食品检测范围。同时, 该方法与其他文献报道方法比较, 具有前处理简单便捷、线性关系良好、灵敏度高、回收率稳定、定量准确, 能快速检测样品中肌醇含量, 完全适用于不同基质的植物源性运动食品中肌醇含量的测定。

表5 不同基质的加标回收率及相对标准偏差(n=6)  
Table 5 Standard addition recoveries and relative standard deviations of different matrices (n=6)

化合物	基质	本底值/(mg/100 g)	20 mg/100 g		40 mg/100 g		60 mg/100 g	
			回收率/%	RSDs%	回收率/%	RSDs%	回收率/%	RSDs%
肌醇	大豆基质	35.45	89.45	2.35	92.56	5.87	83.45	1.23
	小麦基质	20.14	81.67	4.68	83.56	3.56	91.54	5.45
	玉米基质	41.13	94.25	7.65	87.45	2.54	87.58	6.47
	花生基质	31.54	91.56	4.56	97.45	4.78	96.54	8.56

### 参考文献

- [1] 张小鸿, 袁平. 磷脂酰肌醇3-激酶抑制药对结肠癌细胞的作用[J]. 中国临床药理学杂志, 2021, 37(19): 2636-2639.  
ZHANG XH, YUAN P. Effect of phosphatidylinositol 3-kinase inhibitor on colon cancer cells [J]. *Chine Clin Pharm*, 2021, 37(19): 2636-2639.
- [2] HEINDL F, FASCHING P, HEIN A, et al. Mammographic density and prognosis in primary breast cancer patients [J]. *Breast*, 2021, 59(12): 368-372.
- [3] JACEK L, ALEKSANDRA P, IWO A, et al. Chemical profiling and cytotoxic activity of 150-year old original sample of Jerusalem balsam [J]. *Food Chem Toxicol*, 2020, 138(21): 698-706.
- [4] 李春杏, 刘桦, 孙桂凤, 等. 复发性滤泡性淋巴瘤治疗新药 copanlisib 的药理作用与临床评价[J]. 临床药物治疗杂志, 2018, 16(1): 27-31.  
LI CX, LIU H, SUN GF, et al. Pharmacological effects and clinical evaluation of new drug copanlisib for the treatment of recurrent follicular lymphoma [J]. *J Clin Drug*, 2018, 16(1): 27-31.
- [5] 覃信梅, 卢永彬, 江浙贵, 等. 刺齿报春苜蓿肌醇半乳糖苷合成酶基因的鉴定及序列分析[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(8): 56-60.  
QIN XM, LU YB, JIANG QG, et al. Identification and sequence analysis of the inositol-galactoside synthase gene of *Primula lanceolata* [J]. *J Jiangsu Agric Sci*, 2019, 47(8): 56-60.
- [6] 范洁, 王雨晴, 李瑞梅, 等. 木薯中肌醇半乳糖苷合成酶基因在大肠杆菌中的表达[J]. 分子植物育种, 2015, 13(5): 1027-1032.  
FAN J, WANG YQ, LI RM, et al. Expression of galactinol synthase gene in cassava in *Escherichia coli* [J]. *Mol Plant Breed*, 2015, 13(5): 1027-1032.
- [7] VICTORIA G, SHINEN N, JAMSRANJAV G, et al. Structural investigation and comparative cytotoxic activity of water-soluble polysaccharides from fruit bodies of the medicinal fungus *quinine conk* [J]. *Phytochemistry*, 2020, 15(21): 1547-1554.
- [8] YAGYU T, SAITO H, SAKAMOTO T, et al. Decreased mean platelet volume predicts poor prognosis in patients with pancreatic cancer [J]. *BMC Surg*, 2021, 21(1): 158-166.
- [9] 毛琰, 张斌, 王清波, 等. 离子色谱法测定特殊医学用途配方食品中肌醇[J]. 乳业科学与技术, 2021, 44(4): 38-41.  
MAO L, ZHANG B, WANG QB, et al. Determination of inositol in formula foods for special medical purposes by ion chromatography [J]. *Dairy Sci Technol*, 2021, 44(4): 38-41.
- [10] 刘晓燕, 肖梦月. 毛细管电泳紫外检测苦荞中的D-手性肌醇[J]. 粮油食品科技, 2018, 26(1): 57-60.  
LIU XY, XIAO MY. Capillary electrophoresis UV detection of D-chiral inositol in tartary buckwheat [J]. *Sci Technol Cere Oils Foods*, 2018, 26(1): 57-60.

- [11] 朱礼, 何浩, 薛敏敏, 等. 气相色谱法快速测定婴幼儿配方奶粉中肌醇含量[J]. 食品与机械, 2021, 37(5): 78–81, 100.  
ZHU L, HE H, XUE MM, *et al.* Rapid determination of inositol content in infant formula milk powder by gas chromatography [J]. Food Mach, 2021, 37(5): 78–81, 100.
- [12] 张成祥, 曾祥恒, 付红岩, 等. 超高效液相-质谱法检测婴幼儿奶粉中的肌醇含量[J]. 食品工业, 2019, 40(11): 327–330.  
ZHANG CX, ZENG XH, FU HY, *et al.* Determination of inositol content in infant milk powder by ultra performance liquid-mass spectrometry [J]. Food Ind, 2019, 40(11): 327–330.
- [13] 贺茜, 吕卓, 史朝辉, 等. 高效液相色谱法测定大豆磷脂类保健食品中的磷脂酰胆碱、磷脂酰乙醇胺、磷脂酰肌醇[J]. 食品安全质量检测学报, 2020, 11(19): 6792–6797.  
HE Q, LV Z, SHI CY, *et al.* Determination of phosphatidylcholine, phosphatidylethanolamine and phosphatidylinositol in soybean phospholipid health food by high performance liquid chromatography [J]. J Food Saf Qual, 2020, 11(19): 6792–6797.
- [14] 方梦婵, 鄢爱平, 万益群, 等. 气相色谱-质谱法分析乳腺癌大鼠尿液中的代谢物[J]. 分析科学学报, 2021, 37(5): 601–605.  
FANG MC, YAN AIP, WAN YQ, *et al.* Analysis of metabolites in urine of breast cancer rats by gas chromatography-mass spectrometry [J]. J Chin Anal Sci, 2021, 37(5): 601–605.
- [15] 范迪, 张梦悦, 杨燕, 等. 微生物法测定食品中的肌醇含量[J]. 食品安全质量检测学报, 2018, 9(13): 3474–3478.  
FAN D, ZHANG MY, YANG Y, *et al.* Determination of inositol content in food by microbiological method [J]. J Food Saf Qual, 2018, 9(13): 3474–3478.
- [16] 胡桂林, 张雪峰, 崔涛, 等. 气相色谱-质谱/质谱法测定牛奶和奶粉中的肌醇[J]. 中国乳品工业, 2011, 39(8): 47–49, 64.  
HU GL, ZHANG XF, CUI T, *et al.* Determination of inositol in milk and milk powder by gas chromatography-mass spectrometry/mass spectrometry [J]. Chin Dairy Ind, 2011, 39(8): 47–49, 64.
- [17] 姜瑞清, 李梅, 常建军, 等. 气相色谱质谱联用法检测牛奶及奶粉中肌醇[J]. 食品工业科技, 2010, 31(10): 375–376, 379.  
JIANG RQ, LI M, CHANG JJ, *et al.* Determination of inositol in milk and milk powder by gas chromatography-mass spectrometry [J]. Sci Technol Food Ind, 2010, 31(10): 375–376, 379.
- [18] 李志, 冉茂乾, 张馨允, 等. QuEChERS-GC-MS/MS 法同时测定刺梨中 15 种有机氯农药残留[J]. 中国酿造, 2020, 39(3): 166–171.  
LI Z, RAN MQ, ZHANG XY, *et al.* Simultaneous determination of 15 organochlorine pesticide residues in prickly pear by QuEChERS-GC-MS/MS [J]. China Brew, 2020, 39(3): 166–171.
- [19] 招启文, 张可冬, 陈晓, 等. 气相色谱-质谱联用测定固体运动饮料中肌醇的含量[J]. 食品工业, 2017, 38(7): 286–288.  
ZHAO QW, ZHANG KD, CHEN X, *et al.* Determination of inositol content in solid sports drinks by gas chromatography-mass spectrometry [J]. Food Ind, 2017, 38(7): 286–288.
- [20] 乔善磊, 姜涛, 张晓玲, 等. 气相色谱法及气相色谱-质谱法测定保健饮料中的肌醇[J]. 中国卫生检验杂志, 2009, 19(9): 2020–2022.  
QIAO SL, JIANG T, ZHANG XL, *et al.* Determination of inositol in health beverages by gas chromatography and gas chromatography-mass spectrometry [J]. Chin J Health Lab Technol, 2009, 19(9): 2020–2022.
- [21] SUH J, PARK S, PARK Y, *et al.* Misplacement of something inside the refrigerator is not a sign of dementia but a probable symptom of attention deficit due to depression [J]. Sci Rep-UK, 2021, 11(1): 168–175.
- [22] JANG S, KIM J, KIM S, *et al.* Mobile app-based chatbot to deliver cognitive behavioral therapy and psychoeducation for adults with attention deficit: A development and feasibility/usability study [J]. Int J Med Inform, 2021, 15(12): 354–366.
- [23] 许文琪, 吴凌, 刘文菁, 等. 基于沉淀净化法的气相色谱法测定婴幼儿配方奶粉中的肌醇[J]. 中国乳品工业, 2019, 47(11): 48–51.  
XU WQ, WU L, LIU WJ, *et al.* Determination of inositol in infant formula milk powder by gas chromatography based on precipitation purification method [J]. Chin Dairy Ind, 2019, 47(11): 48–51.
- [24] 黄传峰, 张会亮, 房子舒, 等. 高效液相色谱-串联质谱法测定功能饮料中肌醇的含量[J]. 食品安全质量检测学报, 2019, 10(4): 1064–1070.  
HUANG CF, ZHANG HL, FANG ZS, *et al.* Determination of inositol in functional drinks by high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. J Food Saf Qual, 2019, 10(4): 1064–1070.
- [25] 陈浩然, 陈永菊, 韩飞, 等. 气相色谱法测定润肤膏霜中肌醇的含量[J]. 理化检验(化学分册), 2014, 50(8): 1030–1031.  
CHEN HR, CHEN YJ, HAN F, *et al.* Determination of inositol content in moisturizing cream by gas chromatography [J]. Phy Test Chem Anal Part B, 2014, 50(8): 1030–1031.
- [26] 张艳红, 彭镰心, 赵钢, 等. 气相色谱法测定藜麦中肌醇的方法研究[J]. 江苏农业科学, 2021, 49(10): 162–166.  
ZHANG YH, PENG LX, ZHAO G, *et al.* Study on the determination of inositol in quinoa by gas chromatography [J]. J Jiangsu Agric Sci, 2021, 49(10): 162–166.
- [27] 王胜杰, 胡守江, 秦宇, 等. 气相色谱法测定南瓜中肌醇的含量[J]. 食品安全质量检测学报, 2020, 11(8): 2487–2492.  
WANG SJ, HU SJ, QIN Y, *et al.* Determination of inositol in pumpkin by gas chromatography [J]. J Food Saf Qual, 2020, 11(8): 2487–2492.
- [28] FISCHER D, GOELDE S, JACOBS G, *et al.* Numerical investigation of effects on replenishment in rolling point contacts using CFD simulations [J]. Tribol Int, 2021, 32(10): 1128–1136.
- [29] JAKE A, MATTHEW S, RICHARD G, *et al.* The effect of gas turbine lubricant base oil molecular structure on friction [J]. Tribol Int, 2020, 16(34): 228–234.
- [30] GURAV A, HAIXIAO S, DUANFE M, *et al.* Highly transparent, hot water and scratch resistant, lubricant-infused slippery surfaces developed from a mechanically-weak superhydrophobic coating [J]. Chem Eng J, 2020, 55(9): 119–126.

(责任编辑: 于梦娇 韩晓红)

## 作者简介



赵统, 博士, 讲师, 主要研究方向为体育教学训练与理论研究。

E-mail: zhaotong202111@126.com