

食品中乙基麦芽酚检测方法的研究进展

周惠健*, 刘佩, 刘嘉琼, 林秋凤

(东莞市食品药品检验所, 东莞 523000)

摘要: 乙基麦芽酚是一种常见的食品添加剂, 因其对食品香味的改善和增强具有显著效果而被广泛运用到食品加工中, 是肉制品、面包、糕点、果冻、饮料、糖果、饼干等食品的良好香味增效剂, 然而长期过量摄入乙基麦芽酚会对人体健康造成不利影响, 因此对乙基麦芽酚的检测极其必要。本文综述了乙基麦芽酚现有检测方法, 重点阐述了液相色谱法、液相色谱-串联质谱法、表面增强拉曼光谱法和电化学法的优缺点及其应用现状, 旨在为效率更高、适用性更强及精准度更高的乙基麦芽酚检测方法的开发提供参考依据。

关键词: 乙基麦芽酚; 食品添加剂; 检测方法

Research progress of the detection methods for ethyl maltol in food

ZHOU Hui-Jian*, LIU Pei, LIU Jia-Qiong, LIN Qiu-Feng

(Food and Drug Administration of Dongguan City, Dongguan 523000, China)

ABSTRACT: Ethyl maltol is a common food additive, which is widely used in food processing because of its significant effect on improving and enhancing the flavor of food. It is a good flavor synergist for meat products, bread, cakes, jelly, beverages, candies, biscuits and other foods. However, long-term excessive intake of ethyl maltol can cause adverse effects on human health, so the detection of ethyl maltol is extremely necessary. This article reviewed the existing detection methods of ethyl maltol, and focused on the advantages and disadvantages of liquid chromatography, liquid chromatography-mass spectrometry, surface-enhanced Raman spectroscopy, electrochemical method and the application status of these methods, in order to provide a reference for the development of a more efficient, applicable and accurate detection method for ethyl maltol.

KEY WORDS: ethyl maltol; food additives; detection method

0 引言

乙基麦芽酚(ethylmaltol, EMA)是重要的食品添加剂(图1为其结构式), 其化学名称为2-乙基-3-羟基-4H-吡喃酮(2-ethyl-3-hydroxy-4H-pyran-4-one), 分子式为 $C_7H_8O_3$, 白色结晶粉末, 溶于热水、甲醇、乙醇、正己烷、甘油等溶剂, 有焦糖香味和水果味。乙基麦芽酚是 γ -吡喃酮的衍生物, 是麦芽酚的同系物, 其增香能力却比麦芽酚强, 有

更浓的香味以及更强的挥发性^[1-2], 因而作为广谱增香剂被广泛地用于食品加工中^[3]。乙基麦芽酚是GB 2760—2014《食品安全国家标准 食品添加剂使用标准》中允许使用的食品用合成香料, 可作为烟草、食品、饮料、香精、果酒、日用化妆品等的香味改良剂, 但该标准对允许添加乙基麦芽酚的食品未进行限量要求, 且乙基麦芽酚价格低廉、增香效果好, 容易造成过量的使用。另外, 国家市场监督管理总局发布的《2020年食品安全监督抽检计

基金项目: 东莞市社会科学技术发展项目(2019507101571)

Fund: Supported by the Society, Science and Technology Development Program of Dongguan (2019507101571)

*通信作者: 周惠健, 硕士, 主要研究方向为食品检测。E-mail: 574833203@qq.com

*Corresponding author: ZHOU Hui-Jian, Master, Food and Drug Administration of Dongguan City, No. 7, Huangqi Street, Songshan Lake High-tech Industrial Development Zone, Dongguan 523000, China. E-mail: 574833203@qq.com

划》对食用植物油大类中新增了乙基麦芽酚抽检项目, 有关植物油的产品标准规定不准添加香精香料, 植物油中不得添加乙基麦芽酚。有研究表明, 过量食用乙基麦芽酚会对人的肝脏产生一定影响, 严重情况会导致头痛、恶心、呕吐、呼吸困难, 甚至造成肝、肾损伤, 对人体危害较大^[4-5]。联合国粮食与农业组织和世界卫生组织食品添加剂专业委员会规定: 乙基麦芽酚人均每天的摄入量以体重计不能超过 2 mg/kg, 而食品加工中的指导用量为 100~200 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ^[6]。因此, 乙基麦芽酚含量是食品安全性的一个重要评价指标。

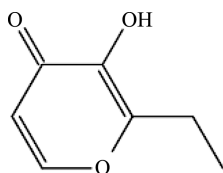


图 1 乙基麦芽酚结构式
Fig.1 Structure of ethylmaltol

目前, 乙基麦芽酚的检测主要涉及食用植物油、肉制品、面包、糕点、果冻、饮料、烟草、糖果、饼干、乳粉等, 检测方法主要有气相色谱法^[7-8]、气相色谱-串联质谱法^[9]、液相色谱法^[10-12]、液相色谱-串联质谱法、电化学法^[13]、拉曼光谱法^[14]、分光光度法^[15-16]、荧光法^[17]等, 这些方法对乙基麦芽酚检测有各自的应用优势和局限性。本文主要综述了现有的乙基麦芽酚检测方法, 以期开发出适用范围更广、灵敏度更高的乙基麦芽酚检测方法提供参考依据, 为食品安全监管提供技术支撑。

1 检测方法

1.1 气相色谱法

气相色谱法(gas chromatography, GC)是利用气体作流动相的色层分离分析方法, 具有准确性较好、灵敏度高、选择性强等特点, 适用于极易挥发的有机物进行定量、定性的实验分析^[18]。景赞等^[19]建立了液液萃取-气相色谱法测定液态乳中麦芽酚、乙基麦芽酚的方法, 该法在 0~100 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 浓度范围内, 线性关系良好, 检出限为 1.9~2.6 mg/kg, 回收率为 85.8%~95.7%, 精密度为 3.3%~5.1%, 适合液态乳中麦芽酚和乙基麦芽酚的检测。杨小珊^[20]采用气相色谱法测定食用植物油中乙基麦芽酚的含量, 乙基麦芽酚含量在 0.5~30 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 范围内线性关系良好, 平均回收率为 86.56%, RSD 为 3.60%。然而, 针对复杂样品时, 该法面临着前处理过程复杂、耗时长等缺点, 使气相色谱法在现场分析检测中的应用受限制。

1.2 气相色谱-串联质谱法

气相色谱-串联质谱法(gas chromatography-mass

spectrometry, GC-MS)是利用气相色谱的高效分离能力与质谱的独特选择性、灵敏度和分子结构鉴定能力相结合的方法, 具有操作简便、干扰少、定性定量准确的特点^[21]。景赞等^[22]建立了以固相萃取为提取分离方式的气相色谱-串联质谱联用测定调味油中麦芽酚、乙基麦芽酚的方法, 样品经正己烷溶解后, 采用氨基固相萃取柱分离净化, 最后用极性稍强的丙酮洗脱, 达到萃取分离。该方法受基质干扰小、线性关系良好, 在 0~0.5 g/kg 测定范围内, 乙基麦芽酚检出限为 0.35 mg/kg, 加标回收率为 95.2%~107%, 精密密度为 0.9%~1.2%。PENG 等^[23]采用顶空固相微萃取结合气相色谱-串联质谱法对奶茶、婴儿配方奶粉中乙基麦芽酚的含量进行测定, 该方法的检出限为 0.005~0.50 $\mu\text{g}/\text{g}$, 回收率为 85%~103%。同样, 针对复杂样品时, 该法有前处理过程复杂、耗时长等缺点。

1.3 液相色谱法

液相色谱法通过采用高压输送的方式实现对高效固定相的在线检测, 具有使用范围广、实现分离快、流动相选择范围大、固定相选择种类多以及操作简单、安全等优势^[24], 主要包括高效液相色谱法(high performance liquid chromatography, HPLC)和超高效液相色谱法(ultra performance liquid chromatography, UPLC)。GB 5009.250—2016《食品安全国家标准 食品中乙基麦芽酚的测定》中采用高效液相色谱法测定食品中的乙基麦芽酚的含量, 该方法适用于饮料、糖果、果冻、肉制品、饼干、面包、糕点、乳粉食品含量的测定。周宏霞等^[25]以液态乳为研究对象, 建立了高效液相色谱法检测液态乳中的乙基麦芽酚的方法, 样品用乙腈提取, 离心过滤膜检测, 该方法在 0.5~100 mg/L 浓度范围内线性关系良好, 回收率为 87.81%~98.82%, RSD 为 1.03%~3.27%。王浩等^[26]建立了饮料中乙基麦芽酚的高效液相色谱测定法, 方法的检出限为 0.5 mg/L, 线性范围 1~200 mg/mL, 加标回收率为 93.4%~102%, 相对标准偏差为 3.56%。刘艳琴等^[27]建立了饮料中乙基麦芽酚的高效液相色谱测定法, 该法采用固相萃取柱对啤酒、碳酸饮料、果汁饮料及植物蛋白饮料中乙基麦芽酚进行吸附萃取, 再经洗脱液淋洗分离和富集, 结果表明, 该法的检出限为 0.25 mg/L, 线性范围为 0~100 mg/mL, 加标回收率为 88.6%~98.8%。田艳玲等^[28]建立了食品中乙基麦芽酚和香兰素残留的高效液相色谱测定方法, 分别测定了碳酸饮料、饼干和肉类食品, 该法检出限为 0.5~2.0 $\mu\text{g}/\text{g}$, 线性范围为 2.0~100 mg/L, 平均加标回收率为 97.1%。刘嘉飞等^[29]采用高效液相色谱法测定白酒中的乙基麦芽酚含量, 该法检出限为 5.2 $\mu\text{g}/\text{L}$, 定量限为 17.3 $\mu\text{g}/\text{L}$ 。

与高效液相色谱法相比, 超高效液相色谱法的灵敏度、分离能力及分析速度均较大提高, 可为实现多种样品

同时测定的高通量检测^[30]。贺江等^[31]建立了不同类型饮料中乙基麦芽酚的超高效液相色谱检测方法,对不含大量 CO₂ 气体饮料、含大量 CO₂ 气体饮料和蛋白饮料样品的处理方案和色谱分析条件进行了优化,结果表明各种饮料中乙基麦芽酚检测加标回收率为 80.61%~103.33%,RSD 为 2.20%~7.38%之间,最低检出限为 0.1~0.8 μg/mL。

1.4 液相色谱-串联质谱法

高效液相色谱-串联质谱法(high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry, HPLC-MS)结合液相色谱和质谱的优点,可以准确地对目标化合物进行定量和定性,特别是三重串联四极杆质谱在多反应监测模式下灵敏度更高,该法用于检测食品中的添加剂具有样品前处理简单、准确性强、重现性好等特点^[32]。BJS 201708《食用植物油中乙基麦芽酚的测定》中采用液相色谱-串联质谱法对芝麻油、芝麻调和油、菜籽油等食用植物油中乙基麦芽酚的含量进行测定,该法检出限为 25.0 μg/kg。唐韵熙等^[33]建立了高效液相色谱-串联三重四极杆串联质谱检测芝麻油、芝麻调和油中乙基麦芽酚的方法,乙基麦芽酚含量在 4~166 μg/L 的范围内线性关系良好,方法定量限为 4.0 μg/L,平均回收率分别为 86.1%、90.8%、88.8%;该法灵敏度高、选择性好,线性关系、回收率好,分析时间短,为芝麻油、芝麻调和油中乙基麦芽酚的快速检测提供了可靠方法。陈坤等^[34]采用液相色谱-串联质谱法检测食用植物油中的乙基麦芽酚,利用正己烷饱和和乙腈试剂提取食用植物油中的乙基麦芽酚,经 C₁₈ 固相萃取小柱净化,测得 3 种阴性样品添加不同含量的乙基麦芽酚的平均回收率为 85.3%、91.3%、92.7%,该法检出限为 5 μg/kg。

超高效液相色谱-串联质谱法(ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry, UPLC-MS)检测食品中乙基麦芽酚的定量检测更不易受到复杂基质中其他组分的干扰,与普通色谱检测方法相比,UPLC-MS 法检出限较低,可减少超范围添加样品造成误判^[35-36]。不同食品基质复杂程度不一,干扰较大,采用 GB 5009.250—2016 检验方法中高效液相色谱法进行定量测定时容易出现假阳性结果。超高效液相色谱-串联质谱法可对多种基质样品进行测定,同时实现正离子扫描模式和负离子扫描模式的切换,且具有同一种内标可定量多种物质的优势。郭建博等^[37]建立了超高效液相色谱-串联质谱法测定复合调味酱中乙基麦芽酚含量的分析方法,该法用乙腈提取, C₁₈ 色谱柱分离,正离子多反应离子检测模式对乙基麦芽酚进行检测,结果表明,乙基麦芽酚含量在 0.04~2.0 mg/kg 范围内线性关系良好,相关系数大 0.99,检出限为 0.01 mg/kg,定量限均为 0.04 mg/kg,加标回收率为 89.3%~99.3%,相对标准偏差为 1.4%~2.6%。杨华梅等^[38]采用超高效液相色谱-串联质谱法测定了火腿肠、瓜子、牛

奶、饮料、大米以及糕点等 6 类 30 份样品中乙基麦芽酚的含量,结果发现固相萃取 C₁₈ 小柱对有弱酸性的乙基麦芽酚不保留,而填料为苯乙烯-二乙烯基苯聚合物颗粒的 SSH2P 小柱对乙基麦芽酚富集很好,该法乙基麦芽酚检出限为 0.01 mg/kg,加标回收率为 75.8%~116%,有利于多种样品的快速检测。宁霄等^[35]建立了超高效液相色谱-串联质谱法建立测定液体乳、婴幼儿配方食品、食用油、乳制品、饮料、烘焙食品 6 种基质样品中乙基麦芽酚含量的方法,结果 5 种香精线性相关系数均大于 0.99,方法定量限在 0.9~16.2 ng/g 之间,在 3 个加标水平下的平均回收率为 80.1%~106.0%,相对标准偏差不大于 8.9%。随着超高效液相色谱-串联质谱的发展和普及,有望成为新一代的安全检测技术标准。

1.5 表面增强拉曼光谱法

表面增强拉曼光谱法(surface-enhanced Raman scattering, SERS)是在普通拉曼光谱和表面增强技术的基础上发展起来的新型光谱分析技术,具有受水和荧光干扰小、稳定性强、灵敏度高、选择性好、前处理简单、无损检测等优点,已广泛运用到食品中有毒有害物质的检测^[39]。随着便携式拉曼光谱仪的发展,SERS 技术实现了对食品非法添加剂、滥用食品添加剂的现场快速检测^[40-41]。吴昊等^[6]设计了一种基于比色和表面增强拉曼光谱双响应的探针分子,以铁离子(Fe³⁺)为媒介,鞣酸还原氯金酸制备的金纳米粒子作为表面增强拉曼散射基底,实现比色-散射光谱双响应,快速鉴别食品中的乙基麦芽酚,乙基麦芽酚的最低检出限降低到 0.01 mg/mL,线性范围为 0.05~1.00 mg/mL,回收率在 89.9%~103.5%之间,该方法使用的仪器简单、操作方便,可对样品中的乙基麦芽酚进行现场直接测定。

SERS 技术检测快速、样品前处理相对简单,能实现现场无损、痕量检测,用于现场快速检测具有广泛应用前景,但目前 SERS 技术在食品安全检测的实际应用中仍处于起步阶段,受检测环境、基底等因素影响,且在不同实验条件下,其信号强度会有差异^[42]。因此,SERS 技术在理论分析、定量分析方面也面临着相应的挑战。

1.6 电化学法

电化学法具有操作简单、响应迅速、灵敏度高、准确性好、所用待测液的用量少等特点,用于食品添加剂的检测具有较好的应用前景^[43-45]。CHEN 等^[46]报道了一种基于石墨烯修饰的玻碳电极的电化学法测定食品中乙基麦芽酚的方法,该方法制成的电极用于测定啤酒的乙基麦芽酚,使用 1 mol/L NH₃H₂O-NH₄Cl 缓冲溶液(pH 8.0)为电解质,乙基麦芽酚在修饰电极上产生一个敏感的氧化峰,氧化峰电流与乙基麦芽酚的浓度在(6.0×10⁻⁷~1.0×10⁻⁴) mol/L 的范围内呈线性关系,检出限为 1.0×10⁻⁷ mol/L。MA 等^[47]采用电化学法制备了聚(L-苯丙氨酸)修饰的玻碳电极,通过

循环伏安法研究了乙基麦芽酚在修饰电极上的电化学反应, 测定了蛋糕、啤酒和红酒中乙基麦芽酚的含量, 该法检出限为 9.5×10^{-8} mol/L, 回收率为 95.2%~101.4%。汝冬冬等^[1]采用化学修饰电极法测定 5 种食品中的乙基麦芽酚的含量, 通过循环伏安法将氧化石墨烯和 L-谷氨酸混合液修饰在玻碳电极表面, 制成聚 L-谷氨酸/石墨烯修饰电极, 该法用于检测蛋黄派、铜锣烧、可乐、啤酒以及巧克力乙基麦芽酚含量, 结果表明, 乙基麦芽酚分别在 0.951 V 和 0.852 V 处出现氧化峰, 其检测浓度分别在 $(6.00 \times 10^{-6} \sim 1.00 \times 10^{-4})$ mol/L 及 $(4.00 \times 10^{-6} \sim 4.00 \times 10^{-4})$ mol/L 范围内呈现良好的线性关系, 检出限为 4.0×10^{-7} mol/L, 用于检测食品中的乙基麦芽酚, 结果良好。

与其他检测方法相比, 电化学法容易受样品基质中干扰物的影响, 且石墨烯复合材料不太适合严苛的溶液环境检测分析, 在长期使用过程中容易刮擦脱落, 影响检测准确度。因此, 需要研究开发新型的电极修饰材料, 以减少或者消除干扰。

1.7 其他检测方法

除了上述的常见方法外, 分光光度法、荧光法和流动注射化学发光法用于食品中的乙基麦芽酚的检测也有相应的报道。分光光度法是通过测定物质在特定波长处或一定

波长范围内光的吸收度, 对该物质进行定性和定量分析, 分光光度法对仪器条件要求较低、高效快速, 但无法同时测定多种食品添加剂, 且当样品基质不同时, 对结果的影响较大^[48]。董学芝等^[49]建立了 FeCl_3 显色分光光度法用于测定食品中乙基麦芽酚含量, 该法基于三价铁与乙基麦芽酚反应生成紫红色配合物, 可快速测定食品中乙基麦芽酚含量, 在乙基麦芽酚浓度为 $(1 \times 10^{-5} \sim 1.4 \times 10^{-2})$ mol/L 范围内, 吸光度与乙基麦芽酚浓度呈良好的线性关系, 该法得到的检出限为 38.34 $\mu\text{g/L}$, 平均回收率为 94.9%, RSD 为 3.49%。乙基麦芽酚在特定波长的荧光素处有吸光度增强的作用, 随着乙基麦芽酚浓度的增加, 其吸光度也相应增强。李畅等^[50]利用测定吸光度有规律的增强建立了测定食品中乙基麦芽酚含量荧光法, 用该法测定了饼干和葡萄酒中乙基麦芽酚的含量, 平均回收率分别为 98.3%和 95.6%, 并与国家标准方法做了对照实验, 结果一致。流动注射化学发光法利用乙基麦芽酚可显著增强鲁米诺-铁氰化钾体系的发光强度, 随着乙基麦芽酚浓度的增加, 体系中的发光强度也相应增大。周艳梅等^[51]采用流动注射化学发光法测定了饮料中乙基麦芽酚的含量, 方法的检出限为 1.1×10^{-7} g/mL, 回收率在 94%~108%之间。

表 1 总结了食品中乙基麦芽酚的检测方法的应用对比。

表 1 食品中乙基麦芽酚的检测方法
Table 1 Detection method of ethyl maltol in food

样品基质	检测方法	检出限	回收率	参考文献
液态乳	GC	1.9~2.6 mg/kg	85.8%~95.7%	[19]
食用植物油	GC	/	86.56%	[20]
调味油	GC-MS	0.35 mg/kg	95.2%~107.0%	[22]
奶茶、奶粉	GC-MS	0.005~0.50 $\mu\text{g/g}$	85%~103%	[23]
液态乳	HPLC	/	87.8%~98.8%	[25]
饮料	HPLC	0.5 mg/L	93.4%~102%	[26]
饮料	HPLC	0.25 mg/L	88.6%~98.8%	[27]
饮料、饼干、肉类	HPLC	0.5~2.0 $\mu\text{g/g}$	92.0%~102.1%	[28]
白酒	HPLC	5.2 $\mu\text{g/L}$	/	[29]
芝麻油、芝麻调油	HPLC-MS	/	85.0%~91.0%	[33]
食用植物油	HPLC-MS	5 $\mu\text{g/kg}$	85.3%~92.7%	[34]
6 种食品	UPLC-MS	0.9~16.2 ng/g	80.1%~106.0%	[35]
复合调味酱	UPLC-MS	0.01 mg/kg	89.3%~99.3%	[37]
6 种食品	UPLC-MS	0.01 mg/kg	75.8%~116%	[38]
5 种食品	电化学法	4.0×10^{-7} mol/L	94.0%~103.0%	[1]
啤酒	电化学法	1.0×10^{-7} mol/L	/	[46]
蛋糕、啤酒、红酒	电化学法	9.5×10^{-8} mol/L	95.2%~101.4%	[47]
花生油	SERE	0.01 mg/mL	89.9%~103.5%	[6]
饼干、葡萄酒	荧光法	6.754 $\mu\text{g/L}$	95.6%~98.3%	[50]
饮料	流动注射化学发光法	1.1×10^{-7} g/mL	94%~108%	[51]

注:“/”代表数据不存在。

2 结 论

乙基麦芽酚检测涉及的方法较多,不同方法适用的范围不同,且存在各自优缺点。对于不同种类的食品基质,若选用的检测方法不当,则易出现假阳性结果不准确的现象。气相色谱法适用于检测易挥发的有机物,前处理过程复杂、耗时长,不利于现场检测;液相色谱法前处理简单、检测速度快,但对样品进行定量测定时容易出现假阳性结果,需要质谱法进行确认;超高效液相色谱-串联质谱法检出限低,对样品基质干扰小,用于食品乙基麦芽酚定量测定准确度高,可以减少假阳性的现象,适合多种样品同时大批量的检测;表面增强拉曼光谱法样品前处理相对简单,能实现现场无损、痕量检测,对现场快速检测的应用具有广泛前景;电化学法虽然操作简单、响应迅速、灵敏度高,但容易受样品基质干扰,不便大批量的检测推广。因此,食品中乙基麦芽酚的检测,需要检测人员在实际检测中结合实验条件、检测目的选择适合检测方法。

参考文献

- [1] 汝冬冬,朱庆仁,孙登明. 化学修饰电极对乙基麦芽酚的测定[J]. 井冈山大学学报(自然科学版), 2019, 40(3): 24-30, 49.
- [2] 穆旻,郑福平,孙宝国,等. 麦芽酚和乙基麦芽酚的合成及其在食品工业中的应用[J]. 中国食品学报, 2006, 6(1): 407-410.
- [3] 纪娟,孙建军,黄菲,等. 食品添加剂乙基麦芽酚的合成工艺研究[J]. 北京化工大学学报(自然科学版), 2009, 36(3): 83-86.
- [4] YUE Y, LIU J, YAO M, *et al.* The investigation of the binding behavior between ethyl maltol and human serum albumin by multi-spectroscopic methods and molecular docking [J]. Spectrochim Acta A Mol Biomol Spectrosc, 2012, 96: 316-323.
- [5] ZHEN L, JIELI L, CHONGHUI W, *et al.* Toxicity studies of ethyl maltol and iron complexes in mice [J]. Biomed Res Int, 2017, 9: 1-9.
- [6] 吴昊,肖东方,应叶,等. 杨海峰. 基于反应体系的表面增强拉曼光谱快速检测乙基麦芽酚[J]. 上海师范大学学报(自然科学版), 2020, 49(2): 167-174.
- [7] WU H, XIAO DF, YING Y, *et al.* Rapid detection of ethyl maltol based on reaction-enhanced surface-enhanced Raman spectroscopy [J]. J Shanghai Nor Univ (Nat Sci Ed), 2020, 49(2): 167-174.
- [8] GUNNER SW, HAND B, SAHASRABUDHE M. Determination of maltol and ethyl maltol in apple juice by gas-liquid chromatography [J]. J Assoc Anal Chem, 2020, (5): 5.
- [9] 龚国珍,李媛. 气相色谱法测定食用植物油中乙基麦芽酚的含量[J]. 检验检疫学刊, 2019, 29(2): 136-137.
- [10] GONG GZ, LI Y. Determination of ethyl maltol in edible vegetable oils by gas chromatography [J]. J Inspecc Quar, 2019, 29(2): 136-137.
- [11] PENG JF, WEI ML, HU YW, *et al.* Simultaneous determination of maltol, ethyl maltol, vanillin, and ethyl vanillin in foods by isotope dilution headspace solid-phase microextraction coupled with gas chromatography-mass spectrometry [J]. Food Anal Method, 2019, 12(8): 1725-1735.
- [12] 迟秋池,李晓雯,何家今,等. 高效液相色谱法同时测定豆浆中麦芽酚、乙基麦芽酚、香兰素、甲基香兰素和乙基香兰素 5 种香料[J]. 食品安全质量检测学报, 2016, 7(7): 2690-2695.
- [13] CHI QC, LI XW, HE JJ, *et al.* Simultaneous determination of maltol, ethyl maltol, vanillin, methyl vanillin and ethyl vanillin in soya bean milk by high performance liquid chromatography [J]. J Food Saf Qual, 2016, 7(7): 2690-2695.
- [14] 陈毓芳,林海丹,官咏仪,等. 高效液相色谱法测定饮料中乙基麦芽酚含量的不确定度评定[J]. 食品安全质量检测学报, 2018, 9(9): 2175-2180.
- [15] CHEN YF, LIN HD, GUAN YY, *et al.* Uncertainty evaluation for determination of ethyl maltol in beverages by high performance liquid chromatography [J]. J Food Saf Qual, 2018, 9(9): 2175-2180.
- [16] 赵志红,张逢秋,朱慧. 反相高效液相色谱法同时测定食品中香兰素、乙基麦芽酚的含量[J]. 食品科技, 2006, (12): 136-138.
- [17] ZHAO ZH, ZHANG FQ, ZHU H. Determination of vanillin and ethyl maltol in food by reversed-phase high-performance liquid chromatography (RP-HPLC) [J]. Food Sci Technol, 2006, (12): 136-138.
- [18] LIU C, ZHAO L, SUN Z, *et al.* Determination of three flavor enhancers using HPLC-ECD and its application in detecting adulteration of honey [J]. Anal Methods, 2018, 10: 1039.
- [19] 董鹏,饶之帆,杨晓云,等. 乙基麦芽酚分子的密度泛函理论计算及表面增强拉曼光谱分析[J]. 光散射学报, 2011, 23(4): 311-316.
- [20] DONG K, RAO ZF, YANG XY, *et al.* Calculation of ethyl maltol molecules using density functional theory and analysis of its surface-enhanced Raman scattering spectra [J]. J Lig Scat, 2011, 23(4): 311-316.
- [21] NI Y, ZHANG G, KOKOT S. Simultaneous spectrophotometric determination of maltol, ethyl maltol, vanillin and ethyl vanillin in foods by multivariate calibration and artificial neural networks [J]. Food Chem, 2005, 89(3): 465-473.
- [22] 彭少华,马文华,狄俊伟. 分光光度法、高效液相色谱法和伏安法测定麦芽酚和乙基麦芽酚[J]. 光谱实验室, 2005, 22(4): 680-682.
- [23] PENG SH, MA WH, DI JW. Determination of maltol and ethyl maltol by spectrophotometry HPLC and voltammetry [J]. Chin J Spectrosc Lab, 2005, 22(4): 680-682.
- [24] 吕惠萍,朱琪,马心英,等. 荧光分析法测定食品中乙基麦芽酚的含量[J]. 菏泽学院学报, 2019, 41(2): 48-51.
- [25] LYU HP, ZHU Q, MA XY, *et al.* Determination of ethyl maltol in food by fluorescence analysis [J]. J Heze Univ, 2019, 41(2): 48-51.
- [26] 林景雪,李宝志,高英莉. 气相色谱在食品检测方面的应用及进展[J]. 化学分析计量, 2008, 17(6): 81-84.
- [27] LING JX, LI BZ, GAO YL. Application and progress of gas chromatography in food detection [J]. Chem Anal Met, 2008, 17(6): 81-84.
- [28] 景赞,刘超,刘晓碧. 气相色谱法测定液态乳中麦芽酚和乙基麦芽酚

- [J]. 现代食品, 2020, (5): 199–201.
- JING Z, LIU C, LIU XB. Determination of maltol and ethyl maltol in liquid milk by gas chromatography [J]. Mod Food, 2020, (5): 199–201.
- [20] 杨小珊. 气相色谱法测定食用植物油中乙基麦芽酚的含量[J]. 食品与发酵科技, 2019, 55(1): 119–121.
- YANG XS. Determination of ethyl maltol in edible vegetable oils by gas chromatography [J]. Food Ferment Sci Technol, 2019, 55(1): 119–121.
- [21] COSTA BRB, PADILHA MC, RODRIGUES LML, *et al.* Analysis of anabolic agents in whey protein by gas chromatography coupled to triple quadrupole mass spectrometry [J]. Food Anal Method, 2020, 13(11): 2003–2013.
- [22] 景赞, 胡丹, 刘超. GC-MS/MS 测定调味油中麦芽酚和乙基麦芽酚[J]. 中国食品添加剂, 2017, (6): 209–213.
- JING Z, HU D, LIU C. Simultaneous determination of maltol and ethyl maltol in seasoning oils by GC-MS/MS [J]. Chin Food Addit, 2017, (6): 209–213.
- [23] PENG JF, WEI ML, HU YW, *et al.* Simultaneous determination of maltol, ethyl maltol, vanillin, and ethyl vanillin in foods by Isotope dilution headspace solid-phase microextraction coupled with gas chromatography-mass spectrometry [J]. Food Anal Methods, 2019, 12(8): 1725–1735.
- [24] 王斌, 杨晓琴. 高效液相色谱法在食品添加剂检验中的应用[J]. 现代食品, 2018, (13): 140–142.
- WANG B, YANG XQ. Application of high performance liquid chromatography in food additives testing [J]. Mod Food, 2018, (13): 140–142.
- [25] 周宏霞, 臧汝瑛. HPLC 法检测液态乳中的乙基麦芽酚[J]. 中国乳品工业, 2018, 46(9): 55–56.
- ZHOU HX, ZANG RY. Determination of ethyl maltol in liquid milk by HPLC [J]. Chin Dairy Ind, 2018, 46(9): 55–56.
- [26] 王浩, 刘艳琴, 杨红梅, 等. 寇琳娜. 高效液相色谱法测定饮料中乙基麦芽酚的研究[J]. 食品科技, 2006, (8): 235–236.
- WANG H, LIU YQ, YANG HM, *et al.* Study on HPLC analysis of ethyl malto in beverage [J]. Food Sci Technol, 2006, (8): 235–236.
- [27] 刘艳琴, 王浩, 杨红梅, 等. 固相萃取 HPLC 法测定饮料中乙基麦芽酚的研究[J]. 食品与发酵工业, 2006, (9): 138–139.
- LIU YQ, WANG H, YANG HM, *et al.* Study on the determination of ethyl maltol in beverages by solid phase extraction combined with HPLC [J]. Food Ferment Ind, 2006, (9): 138–139.
- [28] 田艳玲, 王浩, 刘艳琴, 等. 固相萃取 HPLC 法同时测定食品中乙基麦芽酚和香兰素[J]. 食品研究与开发, 2007, (11): 138–140.
- TIAN YL, WANG H, LIU YQ, *et al.* A study on SPE-HPLC analysis of ethylmalto and vanillainin food [J]. Food Res Dev, 2007, (11): 138–140.
- [29] 刘嘉飞, 熊含鸿, 许和强. 白酒中麦芽酚、乙基麦芽酚的测定[J]. 酿酒, 2015, 42(2): 110–111.
- LIU JF, XIONG HH, XU HQ. Determination of spirit maltol and ethyl maltol [J]. Liq Mak, 2015, 42(2): 110–111.
- [30] 薄海波, 星玉秀, 吉生军, 等. 固相萃取-超高效液相色谱-串联质谱法同时测定酸奶中 55 种塑料添加剂[J]. 食品科学, 2017, 38(24): 265–271.
- BO HB, XING YX, JI SJ, *et al.* Simultaneous determination of 55 plastic additives migrating from plastic containers to yogurt by solid phase extraction-ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. Food Sci, 2017, 38(24): 265–271.
- [31] 贺江, 马丹露. 饮料中乙基麦芽酚 UPLC 检测方法的建立[J]. 中国食品添加剂, 2018, (1): 182–186.
- HE J, MA DL. Development of determination of ethyl maltol in beverage by UPLC method [J]. Chin Food Addit, 2018, (1): 182–186.
- [32] 王警, 郑娟梅, 王海波, 等. 高效液相色谱-串联质谱法同时测定饮料中 54 种食品添加剂[J]. 食品安全质量检测学报, 2020, 11(6): 1909–1919.
- WANG J, ZHENG JM, WANG HB, *et al.* Simultaneous determination of 54 food additives in beverages by high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. J Food Saf Qual, 2020, 11(6): 1909–1919.
- [33] 唐韵熙, 白亚敏, 毛庆, 等. 芝麻油、芝麻调和油中乙基麦芽酚 HPLC-MS/MS 分析[J]. 分析实验室, 2016, 35(4): 468–471.
- TANG YX, BAI YM, MAO Q, *et al.* Determination of ethyl maltol in sesame oil by HPLC-MS/MS [J]. Chin J Anal Lab, 2016, 35(4): 468–471.
- [34] 陈坤, 谢凤慧, 彭磊. 固相萃取-液相色谱串联质谱法检测食用植物油中乙基麦芽酚的研究[J]. 质量与认证, 2020, (8): 75–77.
- CHEN K, XIE FH, PENG L. Study on the determination of ethyl maltol in edible vegetable oil by solid phase extraction-liquid chromatography tandem mass spectrometry [J]. Chin Qual Certif, 2020, (8): 75–77.
- [35] 宁霄, 何欢, 金绍明, 等. 超高效液相色谱-串联质谱法同时测定食品中麦芽酚、乙基麦芽酚、香兰素、甲基香兰素和乙基香兰素[J]. 食品安全质量检测学报, 2017, 8(7): 2555–2562.
- NING X, HE H, JIN SM, *et al.* Simultaneous determination of vanillin, methyl vanillin, ethyl vanillin, maltol and ethyl maltol in foods by ultraperformance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. J Food Saf Qual, 2017, 8(7): 2555–2562.
- [36] ZHONG Y, XU T, CHEN Q, *et al.* Development and validation of eight cyanogenic glucosides via ultra-high-performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry in agri-food [J]. Food Chem, 2020, 331: 30.
- [37] 郭建博, 刘开, 宋莉, 等. 超高效液相色谱-串联质谱法测定复合调味酱中乙基麦芽酚的含量[J]. 食品安全质量检测学报, 2020, 11(19): 6745–6750.
- GUO JB, LIU K, SONG L, *et al.* Determination of ethyl maltophenol in compound flavor sauce products by ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. J Food Saf Qual, 2020, 11(19): 6745–6750.
- [38] 杨华梅, 杭莉. 超高效液相色谱-串联质谱法同时测定食品中 4 种常用香精[J]. 色谱, 2015, 33(3): 250–255.
- YANG HM, HANG L. Determination of four frequently-used essences in foods by ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. Chin J Chromatogr, 2015, 33(3): 250–255.
- [39] 邹婷婷, 徐振林, 杨金易, 等. 表面增强拉曼光谱技术在食品安全检测中的应用研究进展[J]. 分析测试学报, 2018, 37(10): 1174–1181.
- ZOU TT, XU ZL, YANG JY, *et al.* Application advances of surface enhanced Raman spectroscopy in food safety detection [J]. J Instrum Anal, 2018, 37(10): 1174–1181.
- [40] ZHANG DR, PU HB, HUAMH LJ, *et al.* Advances in flexible surface-enhanced Raman scattering (SERS) substrates for nondestructive food detection: Fundamentals and recent applications [J]. Trends Food Sci Tech, 2021, 109: 690–701.
- [41] 王石, 程劼, 苏晓鸥. 应用表面增强拉曼光谱技术快速检测较大婴幼儿配方奶粉中的香兰素[J]. 中国农业科学, 2014, 47(11): 2224–2232.
- WANG S, CHENG J, SU XO, *et al.* Rapid determination of vanillin in

- infant formulas by surface enhanced Raman spectroscopy [J]. *Sci Agric Sin*, 2014, 47(11): 2224–2232.
- [42] 梁莹芳, 周化岚, 王燕, 等. 表面增强拉曼光谱技术在食品安全检测中的应用[J]. *理化检验(化学分册)*, 2020, 56(4): 487–496.
LIANG YF, ZHOU HL, WANG Y, *et al.* Application of surface enhanced Raman spectroscopy in food safety [J]. *Inspection Phys Test Chem Anal(Part B: Chem Ana)*, 2020, 56(4): 487–496.
- [43] 汤优霞, 汪燕鸣, 孙登明. *L*-半胱氨酸和镍分层修饰电极的制备及对黄芩苷的测定[J]. *分析科学学报*, 2015, 31(6): 769–773.
TANG YX, WANG YM, SUN DM. Preparation of *L*-cysteine and nickel layered modified electrode and determination of baxine [J]. *J Anal Sci*, 2015, 31(6): 769–773.
- [44] ZIYATDINOVA G, GUSS E, MOROZOVA E, *et al.* Simultaneous voltammetric determination of gallic and ellagic acids in cognac and brandy using electrode modified with functionalized SWNT and poly (pyrocatechol violet) [J]. *Food Anal Method*, 2019, 12(10): 2250–2261.
- [45] 汝冬冬. 石墨烯功能化修饰电极的制备及对食品添加剂的测定[D]. 淮北: 淮北师范大学, 2019.
RU DD. Preparation of graphene functional modified electrode and determination of food additives [D]. Huaibei: Huaibei Normal University, 2019.
- [46] CHEN M, XINYING MA. Electrochemical determination of ethyl maltol on a glassy carbon electrode modified with graphene [J]. *J Chil Chem Soc*, 2013, 58(3): 1918–1920.
- [47] MA X, CHAO M. Electrocatalytic determination of maltol in food products by cyclic voltammetry with a poly (*L*-phenylalanine) modified electrode [J]. *Anal Methods*, 2013, 5(20): 5823.
- [48] 莫益倩, 廖雯意, 肖之敏, 等. 食品中甜蜜素检测方法的研究进展[J]. *食品安全质量检测学报*, 2020, 11(16): 5676–5681.
MO YQ, LIAO WY, XIAO ZM, *et al.* Research progress on the detection methods of cyclamate in food [J]. *J Food Saf Qual*, 2020, 11(16): 5676–5681.
- [49] 董学芝, 李畅, 王爱芳, 等. 食品中乙基麦芽酚快速测定方法研究[J]. *食品科学*, 2008, (6): 318–320.
DONG XZ, LI C, WANG AF, *et al.* Determination of ethylmaltol in food by rapid reaction with Fe(III) [J]. *Food Sci*, 2008, (6): 318–320.
- [50] 李畅, 董学芝, 宋玉芳, 等. 荧光素法测定乙基麦芽酚的含量[J]. *食品研究与开发*, 2008, (6): 101–103.
LI C, DONG XZ, SONG YF, *et al.* Spectrophotometry of ethyl maltol with fluorescein [J]. *Food Res Dev*, 2008, (6): 101–103.
- [51] 周艳梅, 王亚萍, 周华, 等. 流动注射化学发光法测定饮料中乙基麦芽酚[J]. *食品研究与开发*, 2011, 32(9): 159–161.
ZHOU YM, WANG YP, ZHOU H, *et al.* Determination of ethyl maltol in beverages by flow injection chemiluminescence [J]. *Food Res Dev*, 2011, 32(9): 159–161.

(责任编辑: 王欣)

作者简介



周惠健, 硕士, 主要研究方向为食品检测。

E-mail: 574833203@qq.com