食品中硫代二丙酸二月桂酯测定的前处理改进研究

傅旻昊，潘城，黄何何*，林柏纬，林茂发

（福建省产品质量检验研究院，福建 福州 350002）

摘要：硫代二丙酸二月桂酯（Dilauryl thiodipropionate，DLTP）早在 20 世纪 80 年代就被联合国粮农组织/世界卫生组织批准使用于特定食品中，但国内外关于其在这些食品中含量测定的研究近几年才开始出现，主要为色谱质谱联用方法。样品前处理方面，现有传统方法仍存在操作繁琐、含油脂类样品处理耗时长等问题。因此，在传统检测方法改进上，使用通过式除油小柱对含油脂类样品进行处理以提高前处理效率，同时优化色谱及质谱条件，使用 ZB-5 柱进行分离，并确定用于定量及定性分析的离子。运用改进后的方法选取《食品安全国家标准 食品添加剂使用标准》（GB 2760-2024）中 DLTP 涉及的代表性基质进行了含量测定的方法学考察。实验表明，该方法在提高效率的同时也能很好地满足检测要求，DLTP 在气相色谱上 14 min 内出峰，无其他干扰信号且峰形良好，在 0.5～200 mg/L 范围内线性良好，检出限和定量限分别为 0.0015、0.005 g/kg，加标回收率范围为 83.6%～101.4%，6 次平行试验相对标准偏差＜6%。另外，自动机械化 QuEChERS 样品前处理系统也被探索使用于不含油脂样品的前处理，并对净化包内含物的种类与用量进行了优化，以提高前处理的稳定性及效率。从结果来看，使用全自动 QuEChERS 替代传统样品前处理同样能满足检测要求，解放人工的同时还能让平行试验的测试结果更稳定。使用优化后的方法对 17 批次样品进行 DLTP 含量测定，结果均未检出。综上所述，食品中 DLTP 含量测定的检测方法得到优化，满足分析测试要求。此外，如何补齐自动机械化 QuEChERS 前处理系统在含油脂类基质处理方面的短板以及找到并收集阳性样品数据，将是后续研究需要重点考虑的问题。

关键词：硫代二丙酸二月桂酯；前处理优化；全自动 QuEChERS 系统；气相色谱-质谱联用；食品

中图分类号：O65 **文献标识码：**A **文章编号：**0258-3283（2026）--

DOI: 10.13822/j.cnki.hxsj.2026.0145

Improvement of Pretreatment for the Determination of Dilauryl Thiodipropionate in Food

FU Min-hao, PAN Cheng, HUANG He-he, LIN Bo-wei, LIN Mao-fa* (Fujian Inspection and Research Institute for Product Quality, Fuzhou 350002, China)

Abstract：Dilauryl thiodipropionate (DLTP) was approved by the United Nations Food and Agriculture Organization, and World Health Organization for its use in specific food as early as the 1980s. However, domestic and international research on its content determination in food has only emerged in recent years, primarily involving chromatography mass spectrometry methods. In terms of sample pretreatment, traditional methods still exist problems such as cumbersome procedures and prolonged processing time for the pretreatment of oil-containing samples. Therefore, improvements on the traditional detection methods were made using a through-flow oil-removal column on oil-containing samples to enhance the pretreatment efficiency. Simultaneously, the conditions of chromatography and mass spectrometry were also optimized. The separation of DLTP was performed using a ZB-5 column. The ions for quantitative and qualitative analysis were identified. The improved method was applied to conduct methodological validation for DLTP content determination in representative matrices that were specified in the "National Food Safety Standard - Standards for the Use of Food Additives" (GB 2760-2024). The results demonstrated that the method not only improved efficiency but also met detection requirements, with DLTP eluting within 14 minutes in gas chromatography, showing no interfering signals and well-defined peaks. A good linear response was observed within the 0.5 ~ 200 mg/L range. The limit of detection (LOD) and limit of quantification (LOQ) of the method were 0.0015 g/kg and 0.005 g/kg, respectively. The spiked recovery rates ranged from 83.6% to 101.4%, and the relative standard deviation for the six-parallel test was less than 6%. In addition, an automatic QuEChERS pretreatment system was explored for the pretreatment of oil-free samples. The types and contents of the purification sorbent were optimized in order to improve pretreatment stability and efficiency. The results indicated that replacing traditional sample pretreatment with the automatic QuEChERS system also met detection requirements, freeing labor while providing more stable parallel test results. The DLTP content was measured in 17 batches of samples using the optimized method, and no detection was found in any of the results. In summary, the detection method for DLTP content in food was optimized and met analytical testing requirements. Moreover, solving the shortcomings of using automatic QuEChERS pretreatment system for the pretreatment of oil-containing substrates, and identifying and collecting positive sample data, will be key considerations in the future research.

Key words：dilauryl thiodipropionate; pretreatment optimization; automatic QuEChERS; gas chromatography-mass spectrography; food

自 20 世纪 80 年代中期先后被联合国粮农组织/世界卫生组织及美国批准用于食用油脂及富含油脂的食品中后[1,2]，硫代二丙酸二月桂酯（Dilauryl thiodipropionate，DLTP）作为高效、低毒的食用抗氧化剂在世界范围内受到广泛重视和使用[3-5]。

在我国食品标准体系中，1996 年 DLTP 首次出现于《食品添加剂使用卫生标准》（GB 2760-1996）[6]中，但直到最新版《食品安全国家标准 食品添加剂使用标准》（GB 2760-2024）[7]仍未配套相应检测方法，目前仅有《食品中硫代二丙酸二月桂酯含量测定 气相色谱-质谱法》（T/CCAA 133-2025）[8]一份团体标准可供参考。近两年开始出现一些关于

收稿日期：2026-06-22；**修回日期：**2026-09-02；**接收日期：**

基金项目：福建省产品质量检验研究院科技项目（KY202422A）。

作者简介：傅旻昊（1990-），男，江西樟树人，硕士，工程师，主要研究方向为食品检验检测。

通讯作者：黄何何，E-mail：86123307@qq.com。

食品中 DLTP 含量测定的方法学研究，涵盖 gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS)[9]、Gas chromatography-tandem mass spectrometry (GC-MS/MS)[10]和 liquid chromatography-tandem mass spectrometry (LC-MS/MS)[11]等仪器方法。其中，GC-MS 法由上述团体标准的相关起草方发表，提供了更多团标方法的开发细节。

按 GB 2760-2024 规定，DLTP 的适用食品类别包括：膨化食品、油炸面制品、油炸坚果与籽类、经表面处理的新鲜水果及蔬菜，其最大使用量均为 0.2 g/kg。国外对其在食品中的使用范围和限量的规定较少，国际食品法典委员会下属的食品添加剂联合专家委员会确定其每日允许摄入量为 0 ~ 3 mg/kg[12, 13]；美国联邦法规规定在良好的生产规范下，DLTP 的添加总量不超过食品中所含油脂（包括所含挥发性油）的 0.02%时，一般认为是安全的[14]。

与硫代二丙酸等常见的硫醚类抗氧化剂类似，DLTP 具有良好的酯溶性，主要用于油脂类产品的抗氧化[15, 16]，因而在其检测方法的研究中，大都聚焦在样品中油脂的处理和如何快速、有效地处理样品两个方面。李秀英等人采用冷冻法除油[9]，魏婕等人则选择正己烷萃取法[10]，均能达到较为理想的除油效果。

本研究在现有 DLTP 测定研究的基础上，对含油脂类样品的前处理方法进行了改进，同时也探索了自动机械化 QuEChERS 的前处理方法[17, 18]，旨在让样品的前处理更为稳定高效。

1 实验部分

1.1 主要仪器与试剂

6890-5975 型气相色谱-质谱联用仪（配 EI 轰击源，安捷伦科技（中国）有限公司）；BSA2202S 型电子天平（感量 0.01 g）、BCE224-1CCN 型电子天平（感量 0.1 mg）（赛多利斯科学仪器（北京）有限公司）；4-16KS 型高速冷冻离心机（德采实仪器设备（北京）有限公司）；Auto EVA 80 型氮吹浓缩仪（睿科集团（厦门）股份有限公司）；IKA MS 3 型涡旋振荡器（艾卡（广州）仪器设备有限公司）；DTC-27 型超声波清洗机（湖北鼎泰恒胜科技设备有限公司）；HRH-Q60PRO 型自动机械化样品前处理系统（北京慧荣和科技有限公司）；SPE-HLB/PL-lipid 型通过式固相萃取净化柱（200 mg/300 mg/6 mL，中谱科技（福州）有限公司）；乙二胺-*N*-丙基硅烷（PSA，深圳逗点生物技术有限公司）；有机相滤膜（0.22 μm，北京百奥莱博科技有限公司）。

乙腈（色谱纯，德国默克集团）；丙酮、正己烷（色谱纯，上海安谱实验科技股份有限公司）；无水硫酸钠、*L*-抗坏血酸棕榈酸酯（Ascorbyl Palmitate，AP）、氯化钠（分析纯，国药集团化学试剂有限公司）；DLTP 标准品（CAS：123-28-4，纯度 96.3%，天津阿尔塔科技有限公司）。

1.2 试剂配制

无水硫酸钠：650℃灼烧 4 h，储存于干燥器中，冷却后备用。

正己烷溶液（乙腈饱和）：*V*（正己烷）：*V*（乙腈）=1:1 混合溶液，剧烈振摇，静置分层，上层为乙腈饱和的正己烷溶液。

乙腈溶液（正己烷饱和）：*V*（正己烷）：*V*（乙腈）=1:1 混合溶液，剧烈振摇，静置分层，下层为正己烷饱和的乙腈溶液。

0.1 g/L 含 AP 的乙腈溶液（正己烷饱和）：称取 0.1 g *L*-抗坏血酸棕榈酸酯，溶解于 1000 mL 的乙腈溶液（正己烷饱和）中。

0.1 g/L 含 AP 的丙酮溶液：称取 0.1 g *L*-抗坏血酸棕榈酸酯，溶解于 1000 mL 丙酮溶液中。

饱和氯化钠溶液：称取 58.5 g 氯化钠，溶解于 1000 mL 水中。

1.3 含油脂类试样前处理

称取 1 g（精确至 0.001 g）试样于 50 mL 离心管中，加入 5 mL 饱和氯化钠溶液，涡旋振荡 1 min，加入 5 mL 正己烷溶液（乙腈饱和），涡旋 1 min 后，超声提取 10 min，加入 10 mL 含 AP 的乙腈溶液（正己烷饱和），涡旋提取 2 min，5000 r/min 离心 5 min，重复使用 10 mL 含 AP 的乙腈溶液（正己烷饱和）提取 1 次，合并 2 次提取的乙腈层作为待净化液。在 SPE-HLB/PL-lipid 通过式小柱中装入 2 g 无水硫酸钠，将待净化液全部转移至小柱中，保持 1 ~ 2 s/滴的流速，弃去约 3 mL 流出液，收集剩余全部流出液，准确吸取 10 mL 收集的流出液于 40℃水浴下氮吹浓缩至近干，准确加入 5 mL 含 AP 的丙酮溶液涡旋溶解残渣，过有机相滤膜后上机测试。

1.4 不含油脂类试样前处理

不含油脂类试样的前处理与含油脂类试样的

前处理基本一致，区别仅为乙腈层合并后过自填式除水小柱（含约 2 g 无水硫酸钠）而非 **1.3** 中使用的 SPE-HLB/PL-lipid 通过式小柱。

1.5 不含油脂类试样全自动 QuEChERS 前处理

称取 10 g 试样（精确至 0.01 g）至 50 mL 离心管中，使用自动机械化样品前处理系统对样品进行提取、分离和净化，具体步骤如下：加入 20 mL 乙腈及 2 颗玻璃均质子，振荡 3 min 后，加入 6 g 无水硫酸钠和 1.5 g 氯化钠，振荡 3 min 后，4000 r/min 离心 3 min，移取 8 mL 上清液至自填 QuEChERS 净化包（含 600 mg 无水硫酸钠及 200 mg PSA）中，涡旋 3 min，振荡 3 min 后，4000 r/min 离心 3 min，移取 4 mL 净化液至 10 mL 试管中。将试管转移至全自动浓缩仪中，40℃水浴下将净化液浓缩至近干，用丙酮定容至 2 mL，涡旋 1 min，过有机相滤膜后上机测试。

1.6 气相色谱-质谱仪条件

色谱柱：ZB-5 柱（30 m × 0.25 mm × 0.25 μm），升温程序：100 ℃保持 0.5 min，再以 30 ℃/min 升温至 300 ℃，保持 15 min，进样口温度：280℃，进样量：1 μL，进样方式：不分流进样，电子轰击源：70 eV，离子源温度：230℃，GC-MS 接口温度：280℃，溶剂延迟时间：8 min，选择离子监测（SIM）：55（定量离子）、178、329。

2 结果与讨论

2.1 方法前处理优化

2.1.1 常规前处理方法提取条件优化

对于常规前处理方法，分别考察了大豆油、婴幼儿配方奶粉、辣味花生（油炸型）、方便面（油炸型）、鲜柿子等不同基质在不同提取次数条件下乙腈提取次数对 DLTP 加标的提取效率，结果如图 1 所示。提取 1 次时，DLTP 提取率为 51.7%～67.3%；提取 2 次时，提取率提升至 85.3% ～ 94.5%；之后再增加次数则无明显提升。从性价比考虑，本研究选择对样品进行 2 次提取。

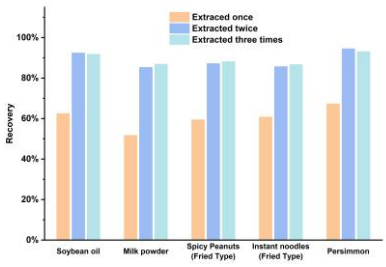


图 1 不同提取次数下 DLTP 提取效率对比

Fig.1 Comparison of DLTP extraction efficiency under different extraction times

2.1.2 常规前处理方法含油脂类样品净化条件优化

在实验中发现，常规前处理方法净化前提取液乙腈中共同存在的油脂不仅可能溶解目标物导致一定的回收率损失，还会影响后续浓缩过程导致无法蒸干。所以，本研究以辣味花生（油炸型）为基质，考查了通过式除油除脂柱对 DLTP 提取的影响。辣味花生（油炸型）基质中 DLTP 加标未过柱与过柱的总离子流图如图 2 所示。谱图杂峰减少，表明过柱后杂质去除较为明显，净化前提取液乙腈中存在的油脂去除彻底，不影响后续的浓缩操作。与相关文献中使用的冷冻法[9]或正己烷萃取法[10]相比，通过式除油柱法在保证除油效果的同时，简化了除油操作，更兼除油除水操作同时进行，缩短了样品处理时间。

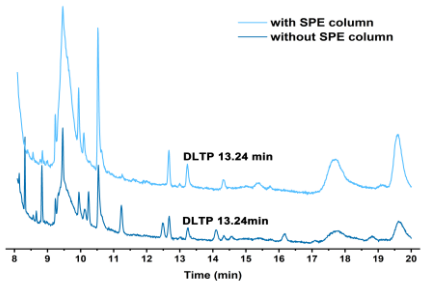


图 2 辣味花生（油炸型）基质中 DLTP 加标未过柱与过柱的总离子流图

Fig.2 Total ion chromatogram of DLTP spiked in spicy peanut (fried type) matrix with and without passing through SPE column

2.1.3 全自动 QuEChERS 前处理方法净化条件优化

因样品前处理系统暂不支持除油操作，故选择多种不含油脂的水果蔬菜类基质进行测试。实验中发现，使用市售 QuEChERS 净化包（含 600 mg 无水硫酸钠 + 200 mg PSA + 400 mg 石墨化炭黑（GCB））会对 DLTP 产生吸附作用，对回收率有较大的影响。为同时保证提取效率及净化程度，本研究以橘子基质为研究对象，对市售 QuEChERS 净化包中的 3 种净化剂（无水硫酸钠、PSA、GCB）用量对 DLTP 提取效率的影响进行了对比，如表 1 所示。结果表明，无水硫酸钠和 PSA 都可以有效

净化水果蔬菜类样品，DLTP 响应强度随着其用量的增加而提高，且在 600 mg 无水硫酸钠 +200 mg PSA 时净化效果最优。由于橘子中色素较多，经过 600 mg 无水硫酸钠 +200 mg PSA 组合净化后净化液依然带有颜色，虽然添加 GCB 可得到无色溶液，但会导致 DLTP 在仪器上无响应信号。鉴于 GCB 对 DLTP 产生了强烈吸附，综合考量后选用 600 mg 无水硫酸钠和 200 mg PSA 的组合作为 QuEChERS 净化剂。

表 1 QuEChERS 净化填料对比实验

Tab.1 Comparison experiment of QuEChERS purification filler

序号	净化填料类型及含量	DLTP 响应强度
1	600 mg 无水硫酸钠	低
2	600 mg 无水硫酸钠 + 100 mg PSA	较高
3	600 mg 无水硫酸钠 + 200 mg PSA	高
4	600 mg 无水硫酸钠 + 200 mg PSA + 100 mg GCB	无响应
5	600 mg 无水硫酸钠 + 200 mg PSA + 200 mg GCB	无响应

2.2 仪器条件的优化

2.2.1 色谱条件选择

DLTP 热稳定性优异，在采用气相色谱分离时，可选择提高柱温来促进其与其他物质的分离。要达到较高的柱温，需要选用极性较低的色谱柱。ZB-5 柱是一款通用性强、使用范围广的色谱柱，能很好地满足高沸点化合物的分离，因此选择其作为分离色谱柱。通过优化气相色谱参数，使 DLTP 在 14 min 内出峰，且峰型良好，如图 3 所示。

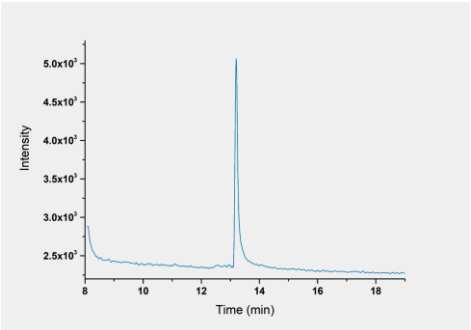


图 3 DLTP 标准溶液（5.0 mg/L）总离子流图

Fig.3 Total ion chromatogram of DLTP standard solution (5.0 mg/L)

2.2.2 质谱条件选择

采用 SCAN 模式对 DLTP 进行扫描，根据质谱图在化合物的碎片离子中选择丰度较高且质量数较大的作为定量离子、干扰小的作为监测离子，随后采用 SIM 模式进行定量定性分析，以提高灵敏度和降低干扰。

2.3 方法学结果

2.3.1 特异性实验

研究表明，丁基羟基茴香醚（Butylated hydroxyanisole，BHA）、二丁基羟基甲苯（Butylated hydroxytoluene，BHT）、叔丁基对苯二酚（tert-Butylhydroquinone，TBHQ）与 DLTP 合用时可以有效提高抗氧化性[2, 19, 20]，实际样品可能存在合用情况。因此，本方法考察了 BHA、BHT 及 TBHQ 与 DLTP 的色谱分离情况，如图 4 所示。结果表明，使用上述色谱条件，在色谱分离中 BHA、BHT 及 TBHQ 的存在不会对 DLTP 测定产生干扰。

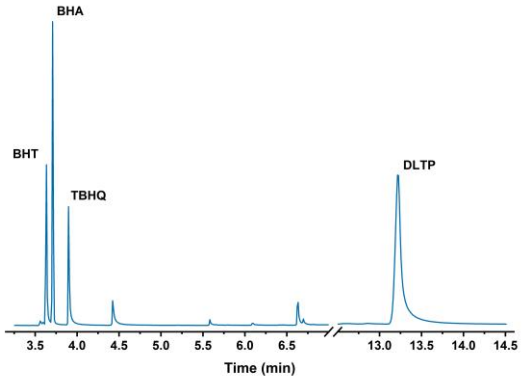


图 4 BHA、BHT、TBHQ 与 DLTP 混合标准溶液总离子流图

Fig.4 Total ion chromatogram of BHA、BHT、TBHQ and DLTP mixed standard solution

2.3.2 常规前处理方法的线性及检测限

配制质量浓度为 0.5 ~ 200 mg/L 的 DLTP 系列标准工作溶液，以峰面积（y）对质量浓度（x，mg/L）进行线性回归，结果如表 2 所示。DLTP 在标准曲线范围内具有良好线性，相关系数（r）为 0.9992。以信噪比（S/N）为 3 和 10 分别得到检出限（Limit of Detection，LOD）和定量限（Limit of Quantitation，LOQ）。DLTP 的 LOD 为 0.0015 g/kg，LOQ 为 0.005 g/kg，可有效满足 GB 2760-2024 对食品中 DLTP 限量要求。

2.3.3 常规前处理方法的回收率及精密度考察

在优化后的提取和净化条件下，取空白食品基

质样品进行 3 个水平加标回收实验，每个水平重复分析 6 次，结果如表 3 所示。经过常规前处理方法后，各基质的平均加标回收率范围为 83.6% ~ 101.4%，与参考文献[9-11]的回收率水平相当，均满足 GB/T 27404-2008[21]对于回收率的规定，且相对标准偏差也相近，在 6%以内，表明该方法具备良好的准确度和精密度。

Tab.2 Methodological parameters of DLTP measurement

回归方程	相关系数（r）	线性范围/（mg·L-1）	检出限/（g·kg-1）	定量限/（g·kg-1）
y = 3010.1x -615.3	0.9992	0.5 ~ 200	0.0015	0.005

表 2 DLTP 测试方法学参数

表 3 代表性基质中 DLTP 加标回收率和相对标准偏差

Tab.3 Spiked recovery rate and relative standard deviation of DLTP in representative matrices

样品	加标浓度/(g·kg-1)	平行试验回收率/%						平均回收率/%	相对标准偏差/%
		1	2	3	4	5	6		
辣味花生（油炸型）	0.005	88.9	82.1	83.6	85.3	82.3	83.4	84.3	3.0
	0.2	99.3	98.9	98.9	95.6	98.2	93.2	97.4	2.5
	1.0	99.8	101.6	99.3	96.6	101.6	100.9	100.0	1.9
方便面（油炸型）	0.005	83.1	83.6	82.0	82.4	84.5	85.7	83.6	1.6
	0.2	92.4	97.2	95.8	94.1	94.0	92.5	94.3	2.0
	1.0	103.0	100.2	101.5	98.5	102.7	97.4	100.6	2.3
婴幼儿配方奶粉	0.005	83.5	86.7	88.1	84.9	81.9	84.5	84.9	2.6
	0.01	93.7	98.9	92.9	91.3	94.6	96.2	94.6	2.8
	0.05	96.5	98.4	96.4	92.8	91.1	94.8	95.0	2.8
大豆油	0.005	84.8	89.5	86.9	93.6	83.7	83.6	87.0	4.5
	0.01	92.4	92.9	92.4	94.5	91.6	89.5	92.2	1.8
	0.05	106.0	99.0	101.3	105.1	95.8	101.4	101.4	3.7
新鲜柿子	0.005	89.7	92.6	85.2	98.8	85.9	88.9	90.2	5.5
	0.2	91.6	93.5	92.5	89.4	93.8	97.9	93.1	3.0
	1.0	100.8	98.7	102.5	97.9	99.1	103.3	100.4	2.2

2.3.4 样品前处理后 DLTP 的时间稳定性

对阴性样品进行 0.5 g/kg 水平的加标后进行前处理，并分别于前处理后 0、2、6、12、24、48、72 h 上机，样品中 DLTP 含量在不同时间点的响应信号如表 4 所示。各时间点信号强度无明显变化，相对标准偏差为 0.73%，表明 DLTP 在溶剂中 72 h 内仍能保持含量相对稳定。

表 4 DLTP 溶剂稳定性实验

Tab.4 Solvent stability experiment of DLTP

时间/h	0	2	6	12	24	48	72
峰面积	275090	278543	274959	274115	272787	273280	272885

2.3.5 不含油脂类基质全自动 QuEChERS 前处理方法的回收率及精密度考察

作为与常规前处理方法的对比，本研究创新性探索了全自动 QuEChERS 前处理方法，考察方法同上，结果如表 5 所示。使用全自动 QuEChERS 前处理方法得到的平均回收率范围为 82.1% ~ 118.2%，不同果蔬基质间的平均回收率存在差异，但均满足 GB/T 27404-2008 要求。与参考文献[9-11]中果蔬类基质的回收率数据对比，回收率基本没有差别。但是，本法测试结果的相对标准偏差范围为 0.3%~3.9%，总体上低于文献中常规人工前处理所得结果，在省时省力的同时，提高了前处理的稳定性和效率。

表 5 果蔬基质中 DLTP 加标回收率和相对标准偏差

Tab.5 Spiked recovery rate and relative standard deviation of DLTP in fruit and vegetable matrices

样品	加标浓度/	平行试验回收率/%						平均回收率/%	相对标准偏差/%
	(g·kg^{-1})	1	2	3	4	5	6		
	0.005	118.7	120.3	118.3	119.2	117.3	115.4	118.2	1.4
橘子	0.2	111.8	109.9	109.4	111.7	110.8	111.8	110.9	1.0
	1.0	111.8	111.7	111	110.7	112.2	110.9	111.4	0.5
	0.005	92.6	96.0	89.0	93.1	92.0	91.8	92.4	2.4
苹果	0.2	93.9	95.8	93.3	94.7	94.4	94.9	94.5	0.9
	1.0	93	92.5	92.1	91.1	92.3	91.8	92.1	0.7
	0.005	92.6	96.2	94.5	98.0	95.2	92.6	94.8	2.2
水蜜桃	0.01	84.1	83.6	83.8	84.7	85.6	84.6	84.4	0.8
	0.05	85.9	86.3	85.6	85.5	85.1	85.4	85.6	0.5
	0.005	113.6	111.1	112.0	114.7	111	113.7	112.7	1.4
香梨	0.01	113.3	113.8	113.6	113.6	113.8	112.9	113.5	0.3
	0.05	113.1	113.4	112.7	112.2	113	112.6	112.8	0.4
	0.005	86.6	91.5	92.9	90.2	90.0	88.3	89.9	2.5
胡萝卜	0.2	89.8	87.6	88.8	88.0	86.6	89.3	88.3	1.3
	1.0	86.9	88.7	89.4	89.4	87.8	87	88.2	1.3
	0.005	112.3	111.2	114.3	116.0	112.8	104.4	111.8	3.6
西红柿	0.01	92.6	89.0	92.9	93.9	99.9	91.9	93.4	3.9
	0.05	98.4	99.1	99.0	97.3	99.4	98.6	98.6	0.8
	0.005	88.4	90.7	89.3	87.7	88.3	86.6	88.5	1.6
土豆	0.01	93.5	93.1	92	90.8	91.8	91.6	92.1	1.1
	0.05	87.6	86.9	86.6	86.3	87.4	87.7	87.1	0.6
	0.005	95.5	95.6	93.3	95.8	97.9	95.8	95.6	1.5
茄子	0.2	93.2	92.7	94.2	93.7	91.6	95	93.4	1.3
	1.0	94.5	93.8	94.7	94.1	94.4	94.6	94.3	0.4

2.3.6 实际样品测定

使用上述常规前处理方法对 17 批次样品进行 DLTP 含量测定，样品类型涵盖 GB 2760-2024 所规定的适用食品类别，结果均未检出。对于阳性样品数据的收集可作为本研究后续的关注方向之一。

3 结论

本研究在 GB 2760-2024 对 DLTP 使用范围规定的基础上，额外增加婴幼儿食品及油类作为代表性基质，考察了 DLTP 的前处理及仪器测试。针对含油脂类基质，进行了前处理净化步骤的改进，提高了前处理效率；对于不含油脂类的果蔬基质，验证了全自动 QuEChERS 前处理方法的可行性，提高了前处理的稳定性和效率。此外，如何克服全自动 QuEChERS 处理仪对于含油脂类基质处理的短板，将是后续研究的重要内容。

参考文献：

[1] Ling G L. *Shanghai Food Tech.*, 1985, **2**: 30-34.

凌关庭. 上海食品科技, 1985, **2**: 30-34.

[2] Li Y, Yi K, Jin Z L, Wu J L. *Food Ferment.Ind.*, 1993, **3**: 29-33.

李炎, 易凯, 金正林, 吴镜桐. 食品与发酵工业, 1993, **3**: 29-33.

[3] Lynn W. *J. Am. Coll. Toxicol*., 1992, **11(1)**: 25-41.

[4] Karahadian C, Lindsay R C. *J. Am. Oil Chem. Soc*., 1988, **65**(**7**): 1159-1165.

[5] Jing Y, Wang R R, Wen H L, Xie J H. *Foods*, 2025, **14**(**11**): 1967.

[6] GB 2760-1996. Hygienic Standards for Uses of Food Additives, 1996-12-29.

GB 2760-1996.食品添加剂使用卫生标准，1996-12-29.

[7] GB 2760-2024. Standards for Uses of Food Additives, 2024-02-08.

GB 2760-2024. 食品添加剂使用标准，2024-02-08.

[8] T/CCAA 133-2025. Determination of Dilauryl Thiodipropionate in Foods-Gas Chromatography Mass Spectrometry Method, 2025-11-12.

T/CCAA 133-2025.食品中硫代二丙酸二月桂酯含量测定 气相色谱-质谱法, 2025-11-12.

[9] Li X Y, Huang J L, Zhou L J, Chen YJ, Cen J B, Li S. *Guangdong Chem. Ind*., **52(24)**: 114-117.

李秀英, 黄嘉乐, 周朗君, 陈永菊, 岑建斌, 李姗. 广东化工, 2025, **52(24)**: 114-117.

[10] Wei J, Sun M, Wang F H, Li P, Chen L, Guo S Q, Ma H. *J. Food Safety Qual.*, 2026, **17(4)**: 338-345.

魏婕, 孙敏, 王芳焕, 李萍, 陈林, 郭澍强, 马辉. 食品安全质量检测学报, 2026, **17(4)**: 338-345.

[11] Wu F Q, Xiong B B, Wu Z J, Li Y M, Zeng J F, Huang C X, Luo Y, Shen J C. *Chin. J. Anal. Chem*., 2025, **53(11)**: 1860-1869.

吴凤琪, 熊贝贝, 吴章杰, 李雅玫, 曾俊发, 黄昌雄, 罗耀, 沈金灿. 分析化学, 2025, **53(11)**: 1860-1869.

[12] Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. JECFA specifications for identity and purity of thickening agents, anticaking agents, antimicrobials, antioxidants and emulsifiers. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1978.

[13] Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. Compendium of Food Additive Specifications. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.1992.

[14] U.S. Food and Drug Administration. §182.3280 Dilauryl thiodipropionate[S]//Code of Federal Regulations, Title 21 Part 182. Washington DC: U.S. Government Publishing Office.1977.

[15] Li Y, Jin Z L. *China Oils Fat*, 1994, **2**: 28-31.

李炎，金正林. 中国油脂, 1994, **2**: 28-31.

[16] Li Y, Jin Z L, Ye X J. *Food Sci.,* 1994, **9**: 12-15.

李炎, 金正林, 叶秀娇. 食品科学, 1994, **9**: 12-15.

[17] Yue C, Mao S H, Zhou X, Ruan H, Liu Z,Wang F. *J. Instrum. Anal*., 2025, **44(2)**: 318-325.

岳超, 毛思浩, 周霞, 阮昊, 刘柱, 王峰. 分析测试学报, 2025, **44(2)**: 318-325.

[18] Liang Y, Lei C N, Wang B, Zhang H, Wang X C, Zhou X P, Qi Z Z, Zhu M C. *Chin. J. Chromatogr*., 2024, **42(4)**: 368-379.

梁艳, 雷春妮, 王波, 张欢, 王新潮, 周小平, 漆珍珍, 朱梦晨. 色谱, 2024, **42(4)**: 368-379.

[19] Lai X X, Zheng Y W, Lu Y. Food Ferment. Ind., 1999, **1**: 30-33.

赖旭新, 郑轶武, 李炎. 食品与发酵工业, 1999, **1**: 30-33.

[20] Wang R R. Development of Novel Composite Antioxidant system for Walnut Kernel and its Oxidative Stability. Nanchang: Nanchang University, 2023.

王荣荣. 核桃仁新型复合抗氧化剂的开发及其氧化稳定性研究. 南昌：南昌大学, 2023.

[21] GB/T 27404-2008. Criterion on Quality Control of Laboratories - Chemical Testing of Food, 2008-05-04.

GB/T 27404-2008.实验室质量控制规范 食品理化检测，2008-05-04.