

气相色谱法测定茶叶中有机氯和拟虫菊酯类 农药残留的基质效应

杨延峰, 袁晓丽*

(清远市食品检验中心, 清远 511500)

摘 要: 目的 探究气相色谱法测定茶叶基质中 17 种有机氯和拟虫菊酯类农药残留的基质效应。**方法** 应用 QuEChERS 法快速处理茶叶样品得到基质溶液, 用基质溶液配制 3 个不同浓度的混合标液, 用气相色谱法进行测定, 其结果与正己烷溶剂配制的相同浓度混合标液进行比较。**结果** 不同种农药在茶叶基质中的基质效应普遍存在, 随着质量浓度的减小, 基质效应的影响程度会增大; 大部分表现为基质增强效应, 0.004 mg/L 的浓度下有 10 种农药, 强度最大的是百菌清, 基质效应为 156.9%~360.7%; 也有一部分表现为基质抑制效应, 0.004 mg/L 的浓度下有 7 种农药, 强度最大的是三氯杀螨醇, 基质效应为 24.5%~46.6%; 在不同的茶叶基质中同种农药的基质效应程度差别不大, 6 种不同茶叶基质的农药基质效应的标准偏差基本都在 10% 以内; 在相同的茶叶基质中有机氯农药比菊酯类农药的基质效应更强。**结论** 由于基质效应普遍存在, 在较低浓度下基质效应比较显著, 因此在日常的茶叶农残检测时, 为了得到更准确的数据, 应当采用基质标准曲线进行定量分析。

关键词: 茶叶; 气相色谱法; 农药残留; 基质效应

Matrix effects of the determination of organochlorine and pyrethroid pesticide residues in tea by gas chromatography

YANG Yan-Feng, YUAN Xiao-Li*

(Qingyuan Food Inspection Center, Qingyuan 511500, Chin)

ABSTRACT: Objective To explore the matrix effects of 17 kinds of organochlorine and pyrethroid pesticides residues in tea matrix by gas chromatography. **Methods** The matrix solution was obtained by rapid processing of tea samples using the QuEChERS method, the 3 mixed standard solutions of different concentrations were prepared with the matrix solution and measured by gas chromatography. The results were compared with the mixed standard solutions of the same concentration prepared with n-hexane solvent. **Results** The matrix effects of different kinds of pesticides in the tea matrix were widespread, and the influence degree of the matrix effect increased with the decrease of mass concentration. Most of them showed matrix enhancement effect. There were 10 kinds of pesticides at a concentration of 0.004 mg/L, the strongest was chlorothalonil, and the matrix effects were 156.9%~360.7%. A part of them also showed matrix inhibitory effect. There were 7 kinds of pesticides at a concentration of 0.004 mg/L, the most powerful was dicofol, and the matrix effects were 24.5%~46.6%. There was little difference in the degree of matrix effect of the same pesticide in different tea matrices. The standard deviations of the pesticide matrix effects of

*通讯作者: 袁晓丽, 硕士, 主要研究方向为营养与食品卫生学。E-mail: 891766817@qq.com

*Corresponding author: YUAN Xiao-Li, Master, Qingyuan Food Inspection Center, Qingyuan 511500, China. E-mail: 891766817@qq.com

the six different tea matrices were basically within 10%. Organochlorine pesticides had a stronger matrix effect than pyrethroid pesticides in the same tea matrix. **Conclusions** Since the matrix effect is widespread, and the matrix effect is more significant at lower concentrations. Therefore, standard matrix curve should be used for quantitative analysis in daily tea residue testing in order to obtain more accurate data.

KEY WORDS: tea; gas chromatography; pesticide residue; matrix effect

1 引言

我国是世界茶叶生产和出口的大国, 按加工工艺和发酵程度分类, 中国茶叶主要分为 6 大类: 红茶、白茶、青茶、绿茶、黄茶和黑茶^[1]。茶叶既是农产品, 也是食品。含有大量对人体有益的物质, 有助于延缓衰老和抑制心血管疾病等功能^[2], 但一些茶农的认识观念比较陈旧, 他们经常选择农药去防治病虫害, 并且没有科学的规划, 任意地加大农药浓度及施药次数, 农药残留污染已成为一个非常严重的问题^[3], 其质量和安全性也直接影响着人民身体的健康。

基质效应是指基质在对分析物的分析过程中有显著的干扰, 并影响分析结果的准确性^[4]; 气相色谱分析作为一种主要的农药残留量分析检测的方法, 而农药残留检测的基质效应会影响分析结果的准确性。农药残留检测涉及的样品种类和农药种类越来越多, 基质效应几乎在所有样品的检测中出现, 目前在果蔬等样品农药残留的检测中的基质效应研究比较多^[5-11], 但是在茶叶的样品中农药残留, 已经有一些有机磷农药的研究^[12-14], 有机氯和拟除虫菊酯类农药残留检测的基质效应还不常见, 为研究不同茶叶基质对不同浓度的有机氯和拟除虫菊酯类农药的基质效应的影响程度, 本研究对 17 种有机氯和拟除虫菊酯类农药残留在 6 种不同的茶叶基质中 3 个不同浓度水平的基质效应进行比较研究, 为检测人员准确测定茶叶中有机氯和拟除虫菊酯类农药提供技术依据。

2 材料与方法

2.1 仪器、试剂与材料

GC-2010Plus 气相色谱仪(配有 aoc-20i 自动进样器, 电子捕获检测器)、ATX224 电子天平(日本岛津公司); DMT-2500 多管漩涡混合器(杭州米欧仪器有限公司); N-EVAP 氮吹仪(美国 Organomation 公司); TG16-WS 离心机(长沙湘智离心机仪器有限公司)。

氯氟氰菊酯、溴氰菊酯、氰戊菊酯、氰戊菊酯、氯菊酯、滴滴涕、三氯杀螨醇、联苯菊酯、百菌清、氟虫腈、腐霉利、五氯硝基苯、狄氏剂、艾试剂、七氯、 α -硫丹、 β -硫丹标准物质(100 $\mu\text{g/mL}$, 农业部环境保护科研监测所), 乙腈、正己烷(色谱纯, 德国 Merck 公司); 氯化钠(分析纯, 国药集团化学试剂有限公司); QuEChERS 试剂盒(Cleanert

MAS-Q, 天津博纳艾杰尔科技有限公司)。

本次实验所采用的红茶、白茶、青茶、绿茶、黄茶和黑茶 6 种茶叶样品均来源于阳山新自然茶叶有限公司。

2.2 实验方法

2.2.1 气相色谱测定条件

色谱柱: Thermo TG-1MS 毛细管柱(30 $\text{m} \times 0.25 \text{ mm}$, 0.25 μm); 载气: 氮气(纯度 99.999%); 电子捕获检测器温度: 320 $^{\circ}\text{C}$; 进样口温度: 200 $^{\circ}\text{C}$; 进样量: 1 μL ; 尾吹: 60 mL/min ; 进样方式: 不分流进样; 隔垫吹扫流量: 3 mL/min ; 载气流速为: 12 mL/min ; 柱温程序: 150 $^{\circ}\text{C}$ (保持 2 min)至 270 $^{\circ}\text{C}$ (6 $^{\circ}\text{C/min}$, 保持 8 min);

2.2.2 空白基质准备

应用 QuEChERS 快速前处理方法进行处理。称取 5 g 试样(精确至 0.01 g)于 50 mL 离心管中, 加入 2 mL 纯水浸泡 30 min, 加 20 mL 含 1% 醋酸的乙腈溶液后旋涡震荡 10 min, 再加 4 g 无水硫酸镁和 2 g 氯化钠旋涡混匀 3 min, 5000 r/min 离心 10 min 取上清液 10 mL 于 QuEChERS 管中净化旋涡 3 min, 5000 r/min 离心 5 min 取上清溶液 10 mL 并在 40 $^{\circ}\text{C}$ 氮吹至近干, 用色谱级丙酮定容至 2 mL 过膜为样品基质溶液。经测定样品中未检出图 1 中所列 17 种的农药残留, 称该样品为干净样品, 其上机测定液为干净的样品基质溶液, 并以此溶液作为此次基质实验所用的溶剂。

2.2.3 实验设计

用干净的茶叶基质溶液作为溶剂配制的标液, 称为基质标液(B)。用色谱级的正己烷作为溶剂配制的标液, 称为试剂标液(A)。2 种标液质量浓度相同, 分别配制 3 个不同的浓度水平, 以计算样品基质的基质效应。实验采用两者峰面积的相对比值来评价其基质效应(matrix effect, ME)的强弱。

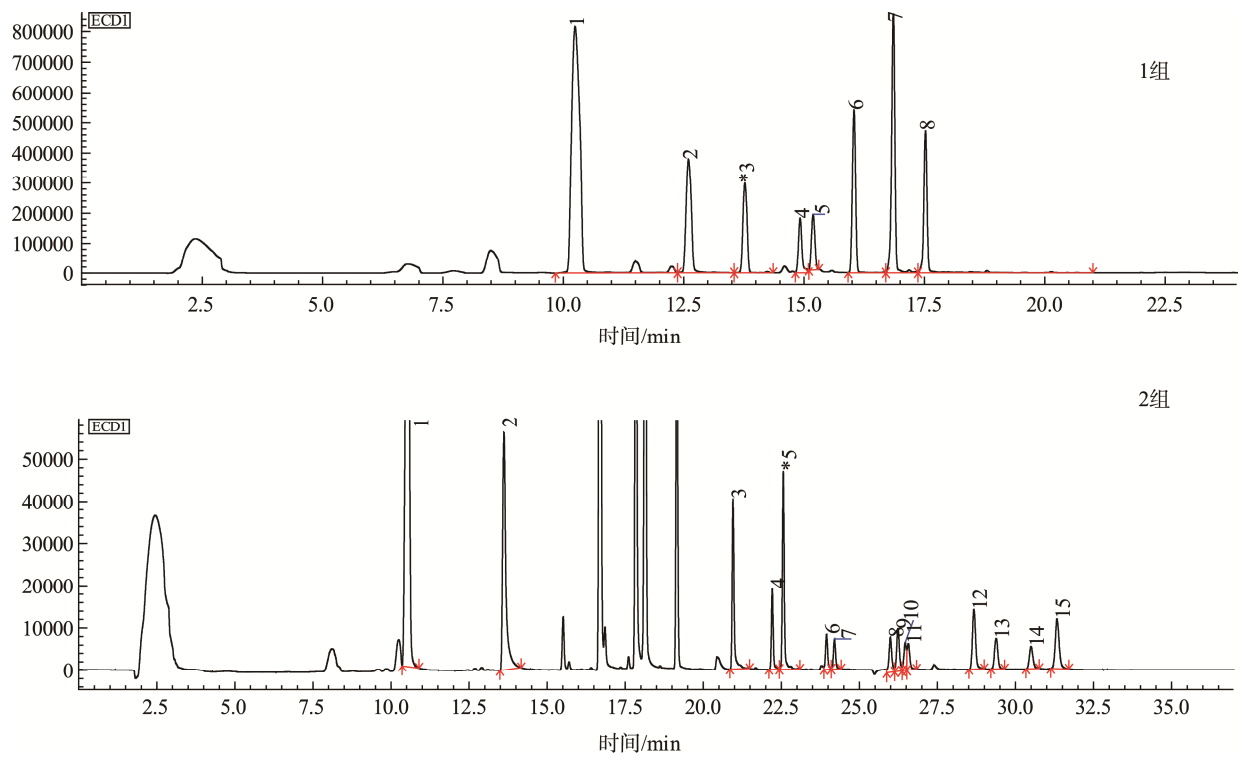
$$ME(\%) = (B \text{ 峰面积} / A \text{ 峰面积}) \times 100\%$$

基质效应评价: 一般认为 ME 大于 100% 称之为基质增强效应, 小于 100% 称之为基质抑制效应, 将 ME 在 80% ~ 120% 范围称为弱基质效应, 基质效应不显著; 在 70% ~ 80% 和 120% ~ 130% 范围称为较强基质效应, 基质效应略显著; 在范围之外称为强基质效应, 基质效应显著^[15]。

3 结果与分析

3.1 17 种农药的色谱图

由图 1 可见, 17 种农药标准品分为 2 组, 在 2.2.1 色谱条件下能够完全分离。



注: 1 组:1.五氯硝基苯(10.255)、2.七氯(12.600)、3.艾氏剂(13.770)、4.氟虫腈(14.910)、5.腐霉利(15.183)、6.狄氏剂(16.850)、7.α-硫丹(16.035)、8.β-硫丹(17.518)。
2 组:1.百菌清(10.515)、2.三氯杀螨醇(13.599)、3.联苯菊酯(20.934)、4~5.氯氟氰菊酯(22.186/22.540)、6~7.氯菊酯(23.927/24.183)、8~11.氰戊菊酯(25.962/26.207/26.435/26.532)、12~13.氰戊菊酯 I(28.635/29.343)、14~15.溴氰菊酯(30.508/31.343)。

图 1 17 种有机氯和拟除虫菊酯类农药标准溶液的气相色谱图
Fig.1 Gas chromatograms of 17 kinds of organochlorine and pyrethroid pesticide standard solutions

3.2 标准曲线线性及线性范围

先用正己烷配制成质量浓度为 10.0 mg/L 的单标标准储备液,再稀释成不同浓度水平的混合标准工作液,按照本方法确定的色谱条件进行测定,以峰面积为纵坐标(Y),质量浓度为横坐标(X)建立标准曲线,获得其线性方程及相关系数(见表 1),其质量浓度为 0.004、0.008、0.02、0.04、0.08、0.2、0.4 mg/L。17 种农药在所研究的质量浓度范围内线性较好,相关系数 r^2 均能达到 0.995 及以上。

3.3 农药残留含量对基质效应的影响

由表 2 可见知不同农药残留在不同的样品基质中都普遍存在着基质效应,并且质量浓度越低,受基质效应的影响就越大,有关文献^[16-20]也报道了,低浓度更容易受基质效应的影响。随着质量浓度的增大,基质效应有了明显的减弱;基质效应的范围在 24.5%~360.7%之间;但不同基质对基质效应的影响差别不大,标准偏差在 10%以内;在 0.004 mg/L 的浓度下表现为较强基质效应以上的有 9 种;在 0.04 mg/L 的浓度下表现为较强基质效应以上的有 8 种;在 0.4 mg/L 的浓度下表现为较强基质效应的有 6 种。

表 1 17 种有机氯和拟除虫菊酯类农药的线性方程及相关系数
Table 1 Linear equations and correlation coefficients of 17 kinds of organochlorine and pyrethroid pesticides

序号	名称	线性范围/(mg/L)	线性方程	相关系数(r^2)
1	氯氟氰菊酯	0.004~0.4	$Y = 1.39107 \times 10^6 X + 6411.76$	0.999
2	溴氰菊酯	0.004~0.4	$Y = 706116 X + 2107.82$	0.999
3	氯氰菊酯	0.004~0.4	$Y = 915804 X + 1059.36$	0.999
4	氰戊菊酯	0.004~0.4	$Y = 730971 X + 5578.17$	0.998
5	氯菊酯	0.004~0.4	$Y = 355027 X + 4380.75$	0.997

续表 1

序号	名称	线性范围/(mg/L)	线性方程	相关系数(r^2)
6	滴滴涕	0.004~0.4	$Y = 1.46650 \times 10^7 X + 219161$	0.996
7	三氯杀螨醇	0.004~0.4	$Y = 2.27103 \times 10^6 X + 23016.6$	0.997
8	联苯菊酯	0.004~0.4	$Y = 855756 X + 9726.92$	0.998
9	百菌清	0.004~0.4	$Y = 5.61755 \times 10^6 X - 47894.3$	0.999
10	氟虫腈	0.004~0.4	$Y = 4.24357 \times 10^6 X + 60491.9$	0.995
11	腐霉利	0.004~0.4	$Y = 6.43678 \times 10^6 X + 65819.3$	0.997
12	五氯硝基苯	0.004~0.4	$Y = 4.49808 \times 10^7 X + 483552$	0.997
13	狄试剂	0.004~0.4	$Y = 2.0632 \times 10^7 X + 197893$	0.998
14	艾氏剂	0.004~0.4	$Y = 8.58028 \times 10^6 X + 55052.0$	0.998
15	七氯	0.004~0.4	$Y = 1.43997 \times 10^7 X + 121535$	0.998
16	α -硫丹	0.004~0.4	$Y = 1.28118 \times 10^7 X + 113849$	0.998
17	β -硫丹	0.004~0.4	$Y = 1.05241 \times 10^7 X + 124142$	0.995

表 2 6 种茶叶基质中 17 种有机氯和拟除虫菊酯类农药的基质效应

Table 2 Matrix effects of 17 kinds of organochlorine and pyrethroid pesticides in 6 kinds of tea substrates

名称	质量浓度/(mg/L)	基质效应/%						平均值/%	标准偏差/%
		红茶	绿茶	乌龙茶	黄茶	白茶	黑茶		
氯氟氰菊酯	0.004	172.1	166.9	168.3	165.5	160.6	170.2	167.3	3.7
溴氰菊酯		147.3	142.8	140.6	144.9	140.2	144.8	143.4	2.5
氯氰菊酯		116.6	115.2	109.3	110.6	102.8	111.6	111.0	4.5
氰戊菊酯		137.3	136.6	132.4	128.1	121.7	130.8	131.2	5.3
氯菊酯		98.6	99.1	103.2	93.7	92.9	97.4	97.5	3.5
滴滴涕		84.3	85.2	84.7	90.3	91.7	86.7	87.2	2.9
三氯杀螨醇		24.5	27.6	25.8	29.5	31.7	31.6	28.5	2.7
联苯菊酯		275.4	268.3	255.1	260.5	247.9	258.4	260.9	8.9
百菌清		359.2	357.3	350.8	352.2	346.2	360.7	354.4	5.1
氟虫腈		197.2	190.1	182.8	176.2	170.1	180.0	182.7	8.9
腐霉利		92.2	94.7	93.2	95.1	97.3	89.9	93.7	2.3
五氯硝基苯		133.7	139.3	137.4	130.9	127.3	133.7	133.7	4.0
狄试剂		113.7	90.5	86.8	90.3	89.9	82.8	92.3	10.0
艾氏剂		93.8	92.8	94.0	105.4	96.0	90.4	95.4	4.8
七氯		72.5	66.9	73.5	82.9	83.6	71.4	75.1	6.1
α -硫丹		60.2	93.4	81.3	83.8	90.4	80.6	81.6	10.6
β -硫丹		107.3	107.2	102.3	107.2	108.3	98.2	105.1	3.6

续表 2

名称	质量浓度/(mg/L)	基质效应/%						平均值/%	标准偏差/%
		红茶	绿茶	乌龙茶	黄茶	白茶	黑茶		
氯氟氰菊酯	0.04	163.1	162.8	154.9	160.7	161.1	151.6	157.3	4.3
溴氰菊酯		137.0	136.3	132.5	128.4	132.5	130.1	130.8	3.2
氯氰菊酯		111.8	109.3	110.4	100.5	105.5	102.6	108.6	4.2
氰戊菊酯		132.2	131.5	122.8	126.0	127.1	120.7	126.4	4.2
氯菊酯		95.8	96.1	96.7	99.8	101.2	98.3	94.5	2.4
滴滴涕		88.8	88.3	93.8	92.9	98.8	97.2	89.6	4.1
三氯杀螨醇		27.0	29.7	32.8	31.1	38.3	41.7	33.5	5.0
联苯菊酯		265.2	261.6	259.6	248.7	247.9	239.3	255.8	9.1
百菌清		357.7	349.4	351.2	340.8	347.8	341.2	348.5	5.8
氟虫腈		182.0	181.1	178.8	168.5	160.4	163.8	172.4	8.6
腐霉利		97.7	97.4	92.6	100.0	97.5	94.1	96.6	2.5
五氯硝基苯		122.9	125.2	120.6	120.3	116.5	124.3	121.6	2.9
狄试剂		96.6	91.4	89.1	92.9	92.5	89.2	92.0	2.6
艾氏剂		93.7	95.3	93.5	97.3	96.4	94.0	95.0	1.4
七氯		80.7	92.0	89.5	96.1	94.6	89.8	90.4	4.9
α -硫丹		90.6	93.2	90.3	95.8	95.4	89.5	92.5	2.5
β -硫丹		114.6	109.0	102.8	109.4	110.3	104.7	108.5	3.8
氯氟氰菊酯	0.4	130.1	127.4	121.8	128.1	128.5	123.6	126.9	2.9
溴氰菊酯		117.0	109.6	108.7	108.5	114.5	112.7	107.4	3.6
氯氰菊酯		115.8	111.8	109.3	108.8	109.9	103.7	112.9	3.8
氰戊菊酯		127.8	123.2	120.9	122.5	121.1	119.8	122.6	2.6
氯菊酯		107.8	106.6	104.3	101.8	100.9	102.4	102.9	2.6
滴滴涕		89.1	87.4	85.6	83.5	81.7	84.8	85.7	2.4
三氯杀螨醇		40.6	41.7	40.4	42.9	46.6	45.2	43.5	2.3
联苯菊酯		129.4	126.6	123.9	125.3	121.7	120.3	124.2	3.0
百菌清		167.4	166.0	164.3	160.2	156.9	159.6	157.2	4.2
氟虫腈		159.5	146.5	142.3	142.6	143.4	145.8	146.7	5.9
腐霉利		100.9	94.9	91.2	99.3	100.0	93.3	96.6	3.7
五氯硝基苯		107.9	105.4	103.4	104.3	103.1	108.1	105.4	2.0
狄试剂		97.9	91.6	89.1	94.8	96.3	91.7	93.6	3.0
艾氏剂		96.4	93.0	91.6	95.3	97.2	94.7	94.7	1.9
七氯		99.7	94.9	91.6	97.5	93.4	93.3	95.1	2.7
α -硫丹		100.7	95.4	93.8	97.0	99.2	94.5	96.8	2.5
β -硫丹		109.9	103.2	98.4	106.6	109.0	102.1	104.9	4.0

3.4 不同农药的基质效应

由表 2 可知不同农药在茶叶基质中都表现出了不同程度的基质效应, 多数农药表现为基质增强效应, 0.004 mg/L 的浓度下有 10 种, 其中基质效应最强的是百菌清, 基质效应在 156.9%~360.7%之间, 这 17 种农药基质增强效应由强到弱依次为: 百菌清、联苯菊酯、氟虫腈、氯氟氰菊酯、溴氰菊酯、五氯硝基苯、氰戊菊酯、氯氰菊酯、β-硫丹, 其中在 0.004 mg/L 的浓度下表现为较强基质效应以上的有 7 种, 分别为百菌清、联苯菊酯、氟虫腈、氯氟氰菊酯、溴氰菊酯、五氯硝基苯和氰戊菊酯, 其他的基质效应均在 100%~120%之间受基质效应的影响较小; 但也有一部分表现为基质抑制效应, 0.004 mg/L 的浓度下有 7 种, 基质效应最强的是三氯杀螨醇, 其基质效应在 24.5%~46.6%之间, 这 17 种农药基质抑制效应由强到弱依次为: 三氯杀螨醇、七氯、α-硫丹、滴滴涕、狄氏剂、腐霉利、艾试剂、氯菊酯, 其中在 0.004 mg/L 的浓度下表现为较强基质效应以上的有 2 种, 分别为三氯杀螨醇和七氯, 其他的基质效应均在 80%~100%之间受基质效应的影响较小。在不同基质的茶叶样品中基质效应的强度变化不大, 6 种不同茶叶基质的农药基质效应的标准偏差基本都在 10% 以内。不同种农药受基质效应影响的强弱不同, 这可能与农药的分子结构关系密切, 还有待于进一步研究。

3.5 有机氯与菊酯类农药基质效应比较

本实验的 17 种农药中由 6 种菊酯类农药和 11 种有机氯农药, 由表 3 可知菊酯类农药的基质效应有较多存在较强以上, 并随着质量浓度的提高, 有机氯农药和菊酯类农药的基质效应个数都有了一定程度的下降, 但由表 2 的数据可知, 基质增强效应和抑制效应强度最大的都是有机氯农药。

表 3 有机氯和菊酯类农药在不同质量浓度的基质效应
Table 3 Matrix effects of organochlorine and pyrethroid pesticides at different concentrations

质量浓度/(mg/L)	有机氯农药	菊酯类农药
	较强以上数量/个	较强以上数量/个
0.004	5	4
0.04	4	4
0.4	3	3

4 结 论

17 种有机氯和菊酯农药残留在 6 种茶叶基质中都表现出了不同程度的基质效应, 并且基质效应的强度与农药的质量浓度的太小有关, 质量浓度越小, 基质效应就越大,

在日常的茶叶农药残留检测工作中一定要用基质标准曲线来进行定量, 不能选用单纯的溶剂曲线进行定量分析, 特别是在茶叶检测中由强基质效应农药残留的时候。但在不同基质的茶叶样品中基质效应的强度变化不大, 6 种不同茶叶基质的农药基质效应的标准偏差基本都在 10%以内。在日常茶叶中农药残留检测时, 可选用任意一种茶叶作为通用基质, 配制基质标准曲线来定量其他茶叶样品中的农药残留, 但若对于结果在限值附近的样品, 则需要选用相同的干净基质配制成基质标准曲线进行定量, 以消除不同基质可能产生的基质效应的不同, 确保定量检测结果的准确性。

参考文献

[1] 查业. 中国茶叶分类[J]. 人力资源开发, 2013, (5): 1003–1073.
Cha Y. Classification of Chinese tea [J]. Dev Human Res, 2013, (5): 1003–1073.

[2] 张卫国, 黄秋婵, 韦友欢, 等. 常见茶叶对人体健康的生理效应[J]. 农技服务, 2008, (10): 128–129.
Zhang WG, Huang QC, Wei QC, et al. Physiological effects of common tea on human health [J]. Agric Technol Serv, 2008, (10): 128–129.

[3] 李秀峰, 林小端, 涂良剑. 我国茶叶农药残留研究进展及展望[J]. 茶叶科学技术, 2007, (3): 4–8.
Li XF, Lin XD, Tu LJ. Research progress and prospect of pesticide residues in tea in China [J]. Tea Sci Technol, 2007, (3): 4–8.

[4] 洪玲, 雷存喜, 夏阳升. 色谱法分析中的基质效应及其规避方法[J]. 轻工科技, 2012, (9): 114–115.
Hong L, Lei CX, Xia YS. Matrix effect in chromatographic analysis and its avoidance [J]. Light Ind Technol, 2012, (9): 114–115.

[5] 杨辉, 栾昉, 代红兵, 等. 基质效应对气相色谱法测定蔬菜水果中有机磷类农药残留的影响[J]. 农业科技通讯, 2019, (10): 164–167.
Yang H, Luan F, Dai HB, et al. Effect of matrix effect on determination of organophosphorus pesticide residues in vegetables and fruits by gas chromatography [J]. Agric Sci Technol Commun, 2019, (10): 164–167.

[6] 叶宇飞, 许秀琴, 王立君, 等. 气相色谱法测定蔬菜水果中农药残留的基质效应研究[J]. 安徽农学通报, 2015, 21(5): 114–116.
Ye YF, Xu XQ, Wang LJ, et al. Matrix effect of determination of pesticide residues in vegetables and fruits by gas chromatography [J]. Bull Anhui Agron, 2015, 21(5): 114–116.

[7] 倪佳. 气相色谱法测定农产品中农药残留的基质效应研究[J]. 科技创新, 2019, 36(78): 142–143.
Ni J. Matrix effect of determination of pesticide residues in agricultural products by gas chromatography [J]. Sci Technol Innov, 2019, 36(78): 142–143.

[8] 牙家璇, 陈廷春, 罗贵文, 等. 基质效应对蔬菜中拟除虫菊酯农药残留检测的影响[J]. 农业科技通讯, 2019, 567(3): 95–97.
Ya JY, Chen TC, Luo GW, et al. Effect of matrix effect on detection of pyrethroid pesticide residues in vegetables [J]. Agric Sci Technol Commun, 2019, 567(3): 95–97.

[9] 范君, 刘腾飞, 杨代凤, 等. 不同基质效应对蔬菜中有机磷农药残留检测的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2017, 8(9): 3543–3548.
Fan J, Liu TF, Yang DF, et al. Effects of different matrix effects on

- determination of organophosphorus pesticide residues in vegetables [J]. *J Food Saf Qual*, 2017, 8(9): 3543–3548.
- [10] Jianhua Y, Meihua Z, Shaochang J, *et al*. Advances on the matrix effect of the chromatography for the determination of multiple pesticide residues [J]. *Guangdong Chem Ind*, 2017, 44(3): 101–104.
- [11] Gu YP, Qiao F, Lin HC, *et al*. Research of matrix effect of 20 pesticide residue in 4 kinds of vegetables [J]. *Food Res Dev*, 2017, 38(22): 148–152.
- [12] 段俊彦. 茶叶中有机磷类农药多残留测定时的基质效应研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2009.
- Duan JY. Matrix effect of determination of organophosphorus pesticide residues in tea [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2009.
- [13] 张丽莉. 茶叶有机磷农药残留检测技术的改进以及基质效应的研究 [D]. 福州: 福建农林大学, 2010.
- Zhang LL. Improvement of detection technology of organophosphorus pesticide residues in tea and study on matrix effect [D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2010.
- [14] 张艳, 聂青玉, 王圣开, 等. 茶基质对气相色谱法定量分析有机磷农药的影响[J]. *食品工业科技*, 2019, 40(13): 211–214, 220.
- Zhang Y, Nie QY, Wang SK, *et al*. Effect of tea matrix on quantitative analysis of organophosphorus pesticides by gas chromatography [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2019, 40(13): 211–214, 220.
- [15] 鲍忠赞. 气相色谱法探究果蔬中有机氯和拟除虫菊酯类农药残留的基质效应[J]. *农药*, 2018, 57(12): 35–39.
- Bao ZZ. Matrix effects of organochlorine and pyrethroid pesticide residues in fruits and vegetables by gas chromatography [J]. *Agrochemicals*, 2018, 57(12): 35–39.
- [16] 叶倩, 邓义才, 路大海, 等. 气相色谱法测定蔬菜水果中氟虫腈 等 6 种农药残留[J]. *农药*, 2016, 55(1): 51–54.
- Ye Q, Deng YC, Lu DH, *et al*. Determination of fipronil and other six pesticide residues in vegetables and fruits by gas chromatography [J]. *Agrochemicals*, 2016, 55(1): 51–54.
- [17] Lehotay SJ, Katerina M. Evaluation of two fast and easy methods for pesticide residue analysis in fatty food matrixes [J]. *J AOAC Int*, 2005, 88(2): 615–629.
- [18] Xiaojiao W, Zhimin, Binnian Y, *et al*. Matrix effect on determination of 18 organophosphorus pesticide residues in vegetables [J]. *Mod Food*, 2019, (14): 138–141.
- [19] Akutsu K, Yoshimitsu M, Kitagawa Y, *et al*. Evaluation of the matrix-like effect in multiresidue pesticide analysis by gas chromatography with tandem mass spectrometry [J]. *J Separat Ence*, 2017, 40(6): 1293–1300.
- [20] Zhao JB, Li DY, Yu QL, *et al*. Matrix effects of fourteen organophosphorus pesticides residues in nine kinds of vegetable matrices [J]. *Plant Dis Pests*, 2014, 5(1): 39–44.

(责任编辑: 李磅礴)

作者简介

杨延峰, 主要研究方向为营养与食品卫生学。

E-mail: 576476578@qq.com

袁晓丽, 硕士, 主要研究方向为营养与食品卫生学。

E-mail: 891766817@qq.com