

# 气相色谱仪柱温箱升温程序的调试方法

王争争<sup>1</sup>, 范丽丽<sup>1</sup>, 常建军<sup>2\*</sup>, 王路阳<sup>1</sup>, 张云鲜<sup>1</sup>, 刘丽云<sup>1</sup>

[1. 蒙牛乳业(焦作)有限公司, 焦作 454000; 2. 内蒙古蒙牛乳业(集团)股份有限公司, 呼和浩特 010000]

**摘要:** **目的** 探究调试气相色谱仪柱温箱升温程序方法。**方法** 比较分析柱温箱升温程序调试过程中柱流速、升温速率、不同温度下的保持时间等调试步骤对分离色谱峰的影响, 确定调试步骤的前后顺序及调试方法。**结果** 调试柱温箱升温程序后, 在丁体六六六和氧化氯丹中间的干扰峰, 出峰于丁体六六六和氧化氯丹后面, 完全分离出来, 减少了干扰峰对结果的影响。**结论** 该方法可以更快速、有效的调试柱温箱升温程序, 分离干扰峰, 适合气相色谱仪柱温箱升温程序的调试。

**关键词:** 柱温箱; 升温程序; 有机氯农药

## Debugging method of temperature rising program in column incubator of gas chromatography

WANG Zheng-Zheng<sup>1</sup>, FAN Li-Li<sup>1</sup>, CHANG Jian-Jun<sup>2\*</sup>, WANG Lu-Yang<sup>1</sup>,  
ZHANG Yun-Xian<sup>1</sup>, LIU Li-Yun<sup>1</sup>

[1. Mengniu Dairy Industry (Jiaozuo) Co., Jiaozuo 454000, China;  
2. Inner Mongolia Mengniu Dairy Industry (Group) Co., Hohhot 010000, China]

**ABSTRACT: Objective** To explore the method of debugging the heating procedure of gas chromatograph column incubator. **Methods** In the process of debugging the heating program of the column incubator, the effects of debugging steps such as column velocity, heating rate and holding time at different temperatures on separating chromatographic peaks were compared and analyzed, and the sequence of debugging steps and debugging methods were determined. **Results** After adjusting the temperature rising program of column temperature box, the interference peak between  $\gamma$ -BHC and chlordane oxide was separated completely, which reduced the influence of interference peak on the results. **Conclusion** This method can debug the temperature rising program of column incubator more quickly and effectively, and separate the interference peak, which is suitable for the adjustment of temperature rising program of column incubator of gas chromatograph.

**KEY WORDS:** column incubator; temperature rising program; organochlorine pesticides

## 0 引言

气相色谱分离法是基于待测物在流动相和色谱柱固定相之间的分配平衡而实现的, 固定相是气相色谱分离的关键, 不同固定相对待测物有不同的保留能力, 保留能力的差异成为了分离的基础<sup>[1-4]</sup>。要得到一个很好的分离分析色谱

图, 不只取决于色谱柱, 还有柱温箱温度的选择, 在一定的情况下, 柱温箱的温度对分离效果产生重要的影响<sup>[5-6]</sup>。

在气相色谱分析中, 柱温箱的温度控制分为 2 种: 恒温控制和程序升温。毛细管色谱柱的普遍使用, 程序升温逐渐占据主要地位, 但是不同固定相的色谱柱, 升温程序不一样。相同型号色谱柱分离不同的物质, 升温程序

\*通信作者: 常建军, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为乳品质量安全研究。E-mail: changjianjun@mengniu.cn

\*Corresponding author: CHANG Jian-Jun, Master, Senior Engineer, Inner Mongolia Mengniu Dairy Industry (Group) Co., Hohhot 010000, China. E-mail: changjianjun@mengniu.cn

也不一样。即使相同型号气相色谱仪、相同型号色谱柱以及相同的仪器条件,分离相同的物质,不同实验室的升温程序也有差别;或者说相同的升温程序,分离效果有一些差别<sup>[7-9]</sup>。

目前大部分实验室使用色谱柱测试报告的升温程序、借鉴他人的升温程序、借鉴相关耗材类厂家给的参考升温程序等,不能完全适配自己的仪器条件,无法有效分离干扰峰<sup>[10-12]</sup>。为此,本研究通过分析牛奶中18种有机氯类农药残的柱温箱升温程序调试过程中,柱流速、升温速率、不同温度下的保持时间等调试步骤对分离色谱峰的影响,确定调试步骤的前后顺序及调试方法,以期快速、有效的调试柱温箱升温程序,使目标峰与干扰峰完全分离,减少干扰峰对结果的影响<sup>[13]</sup>。

## 1 材料与方 法

### 1.1 仪器、试剂与材料

Varian450-GC 气相色谱仪(配电子捕获检测器、配自动进样器)(美国瓦里安公司); DB-1701P 毛细色谱柱(30 m×0.25 mm, 0.25 μm)(美国安捷伦公司)。

标准物质 α-六六六标准储备液(100 μg/mL)、β-六六六标准储备液(100 μg/mL)、γ-六六六标准储备液(100 μg/mL)、δ-六六六标准储备液(100 μg/mL)、1,1-二氯-2,2-双(4-氯苯基)乙烷 [1,1-dichloro-2,2-bis(4-chlorophenyl) ethylene, p,p'-DDE]标准储备液(100 μg/mL)、1,1,1-三氯-2,2-双(对氯苯基)乙烷[1,1,1-trichloro-2,2-bis(p-chlorophenyl) ethane, p,p'-DDT]标准储备液(100 μg/mL)、1,1,1-三氯-2-(邻氯苯基)-2-(对氯苯基)乙烷[1,1,1-trichloro-2-(o-chlorophenyl)-2-(p-chlorophenyl)ethane, o,p'-DDT]标准储备液(100 μg/mL)、1,1-二氯-2,2-双(对氯苯基)乙烷 [1,1-dichloro-2,2-bis(p-chlorophenyl)ethane, p,p'-DDD]标准储备液(100 μg/mL)(农业部环境保护科研监测所); 艾氏剂标准储备液(100 μg/mL)、狄氏剂标准储备液(100 μg/mL)(北京曼哈格生物科技有限公司); 七氯标准储备液(100 μg/mL)、环氧七氯(10 mg, 纯度: 100.0%)、α-硫丹(10 mg, 纯度: 99.9%)、β-硫丹(10 mg, 纯度: 99.9%)、硫丹硫酸酯(10 mg, 纯度: 99.9%)、顺式氯丹(10 mg, 纯度: 99.7%)(美国 Accustandare 公司); 反式氯丹(10 mg, 纯度: 99.11%)、氧化氯丹标准储备液(10 μg/mL)(德国 DR.E 公司); 正己烷(色谱纯, 美国 Fisher 公司)。

### 1.2 溶液的配制

有机氯类农药标准储备液: 分别准确称取 1 mg 的环氧七氯、α-硫丹、β-硫丹、硫丹硫酸酯、顺式氯丹、反式氯丹标准品于 10 mL 的容量瓶中,用正己烷配制为标准储备液,使其浓度分别为环氧七氯(100 mg/L)、α-硫丹(100 mg/L)、β-硫丹(100 mg/L)、硫丹硫酸酯(100 mg/L)、

顺式氯丹(100 mg/L)、反式氯丹(100 mg/L)。

有机氯类农药标准工作液: 准确量取各标准储备液 α-六六六(0.25 mL)、β-六六六(0.5 mL)、γ-六六六(0.25 mL)、δ-六六六(0.25 mL)、p,p'-DDE(0.5 mL)、p,p'-DDT(0.5 mL)、o,p'-DDT(0.5 mL)、p,p'-DDD(0.5 mL)、艾氏剂(0.25 mL)、狄氏剂标(0.5 mL)、七氯(0.5 mL)、环氧七氯(0.5 mL)、α-硫丹(0.5 mL)、β-硫丹(0.5 mL)、硫丹硫酸酯(0.5 mL)、顺式氯丹(0.2 mL)、反式氯丹(0.2 mL)、氧化氯丹(2 mL),置于 1000 mL 容量瓶中,用正己烷配制 18 种有机氯类标准工作液,使其浓度分别为 α-六六六(25 μg/L)、β-六六六(50 μg/L)、γ-六六六(25 μg/L)、δ-六六六(25 μg/L)、p,p'-DDE(50 μg/L)、p,p'-DDT(50 μg/L)、o,p'-DDT(50 μg/L)、p,p'-DDD(50 μg/L)、艾氏剂(25 μg/L)、狄氏剂标(50 μg/L)、七氯(50 μg/L)、环氧七氯(50 μg/L)、α-硫丹(50 μg/L)、β-硫丹(50 μg/L)、硫丹硫酸酯(50 μg/L)、顺式氯丹(20 μg/L)、反式氯丹(20 μg/L)、氧化氯丹(20 μg/L)。

### 1.3 气相色谱条件

进样口温度: 270 °C; 电子捕获检测器温度: 300 °C; 载气: 高纯氮气(纯度大于 99.999%); 柱流速: 1.5 mL/min; 分流比: 关; 进样量: 1 μL; 柱温升温程序: 初始温度 85 °C, 以 20 °C/min 升至 150 °C, 保持 2 min, 再以 5 °C/min 升至 205 °C, 保持 8 min, 再以 40 °C/min 升至 280 °C, 保持 9 min, 总运行时间为 35 min。

## 2 结果与分析

### 2.1 色谱图参数

将 18 种有机氯类农药标准工作液进气相色谱仪检测<sup>[14]</sup>, 确定保留时间及出峰顺序, 18 种有机氯类农药标准品色谱图及检出限见表 1、图 1。

表 1 18 种有机氯类农药标准品的色谱图参数及检出限  
Table 1 Chromatographic charts parameters and detection limits of 18 organochlorine pesticides standards

序号	项目	保留时间/min	检出限/(μg/kg)
1	α-六六六	14.41	0.25
2	林丹	16.01	0.25
3	七氯	16.8	0.50
4	艾氏剂	18.03	0.25
5	β-六六六	19.79	0.50
6	氧化氯丹	21.02	0.20
7	δ-六六六	21.21	0.25
8	环氧七氯	22.12	0.50
9	α-硫丹	23.8	0.50
10	反式氯丹	24.05	0.20

表 1(续)

序号	项目	保留时间/min	检出限/( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )
11	顺式氯丹	24.21	0.20
12	p,p'-DDE	24.51	0.50
13	狄氏剂	24.76	0.50
14	O,p'-DDT	25.27	0.50
15	p,p'-DDD	25.88	0.50
16	$\beta$ -硫丹	25.95	0.50
17	p,p'-DDT	26.17	0.50
18	硫丹硫酸盐	27.37	0.50

## 2.2 升温程序的调试

首先, 经过之前的研究发现<sup>[15-16]</sup>, 进样口温度和检测器温度对色谱峰的出峰时间没有影响。随着色谱柱气体流速的升高, 保留时间逐渐减小; 峰宽、半峰宽逐渐减小; 相

邻两峰的分度逐渐减小。随着柱温箱终点温度的升高, 保留时间逐渐减小; 峰宽、半峰宽逐渐减小; 相邻两峰的分度逐渐减小。柱温箱升温程序的改变, 升温慢的程序与升温快的程序相比, 保留时间逐渐增大; 峰宽、半峰宽逐渐增大; 相邻两峰的分度逐渐增大。

经过多个实验室相同型号仪器、色谱柱及仪器条件的色谱峰分离对比、升温程序的调试, 总结出一个升温程序的调试方法: 固定流速, 升温程序先慢后快, 组分先分离后微调, 调试条件一一对比。

### 2.2.1 固定流速

相对于柱温箱升温程序, 柱流速对分离的影响较小而简单, 柱流速不会引起分配系数改变, 对所有组分的影响恒定。不同的柱流速条件下, 2 种物质的保留时间的比值不变。见表 2。

所以先调试柱温箱升温程序, 后调试流速, 柱温箱升温程序调试好后, 通过调试不同的柱流速来对比色谱峰的分度情况来确定哪个柱流速更好。在调试柱温箱升温程序时先固定一个流速, 比如 1.0 mL/min 或 1.5 mL/min。

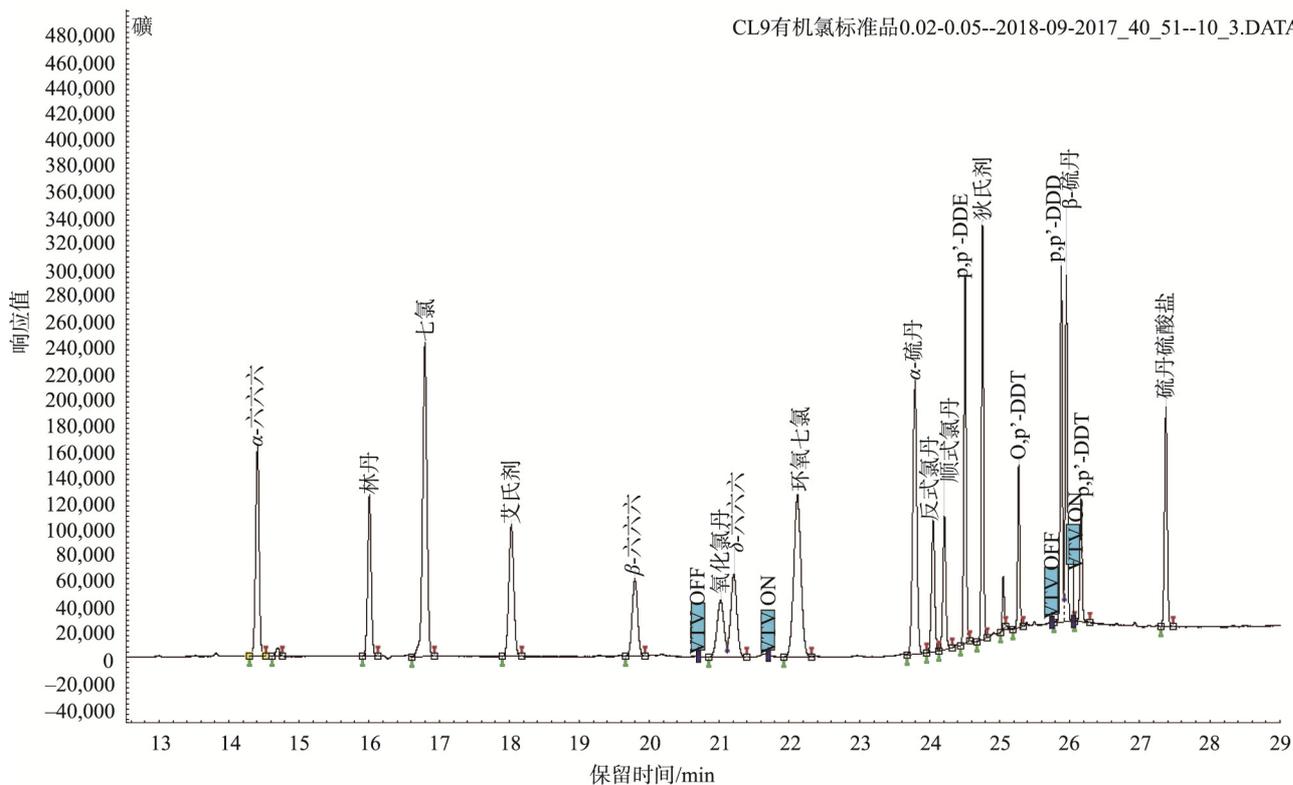


图 1 18 种有机氯类农药标准品的色谱图

Fig.1 Chromatographic charts of 18 organochlorine pesticide standards

表 2 柱流速对组分的影响  
Table 2 Effects of column velocity on components

柱流速/mL	项目	$\alpha$ -666	$\gamma$ -666	$\beta$ -666	$\delta$ -666	P,P'-DDE	O,P'-DDT	P,P'-DDD	P,P'-DDT
1.0	保留时间/min	6.23	6.57	7.26	7.58	8.48	9.35	10.14	10.56
1.5		5.55	5.84	6.41	6.66	7.38	8.05	8.67	9.00
2.0		5.18	5.44	5.95	6.16	6.78	7.35	7.87	8.15
2.5		4.93	5.17	5.65	5.84	6.39	6.89	7.35	7.59
1.0		保留时间的比值		1.05	1.11	1.04	1.12	1.10	1.08
1.5			1.05	1.10	1.04	1.11	1.09	1.08	1.04
2.0			1.05	1.09	1.04	1.10	1.08	1.07	1.04
2.5			1.05	1.09	1.03	1.09	1.08	1.07	1.03
1.0									

注：保留时间的比值：后一个保留时间与前一个的比值。

### 2.2.2 升温程序先慢后快

各组分在流动相和固定相中具有不同的分配系数(或吸附系数、渗透性),当流动相和固定相作相对运动时,这些组分在流动相和固定相中进行多次反复分配而实现分离,见图 2。如果色谱柱的柱温升温过快会造成各组分在流动相和固定相中反复分配加快,相邻组分的分离度减小,相邻组分流出色谱柱时未完全分离。所以色谱柱的柱温前面升温过快,即使色谱柱的柱温后面升温变慢,也会造成相邻的组分不容易分离,因为在色谱柱的柱温前面温度低时,相邻的组分没有完全分开,后面温度越来越高,会更难分开。所以色谱柱的柱温前面升温需要慢速,使各组分充分的分离,后再加快升温。

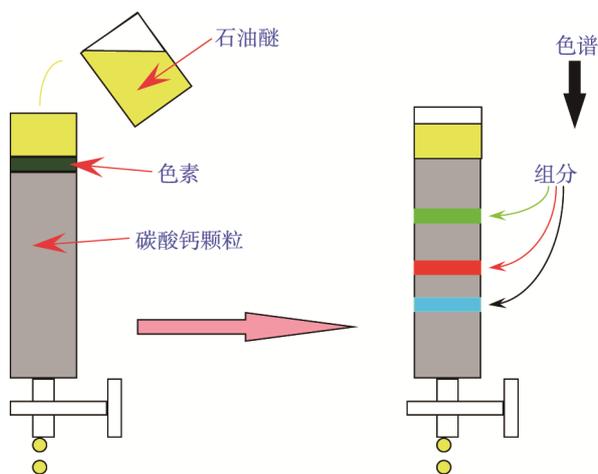


图 2 色谱分离原理

Fig.2 Principle of chromatographic separation

### 2.2.3 组分先分离后微调

在调试柱温箱升温程序时,先用一个大概的升温程序,试着将各组分分离,遇到不能分离的组分,确定不能分离的组分保留时间在升温程序的温度点、时间点,可以降低此温度点并在此温度点保持几分钟。

先调试出峰早的组分,后调试出峰晚的组分。将标准品中各组分分离后,再对比标准品和样品调试升温程序,遇到样品中干扰峰和标准品峰不能分离的情况,确定不能分离的干扰峰保留时间在升温程序的温度点、时间点,后降低此温度点并在此温度点保持几分钟或者降低此时间点前的升温速率、此温度点前附近有温度保持时间的话,可以延长或者减少保持时间等。先调试出峰早的干扰峰,后调试出峰晚的干扰峰。

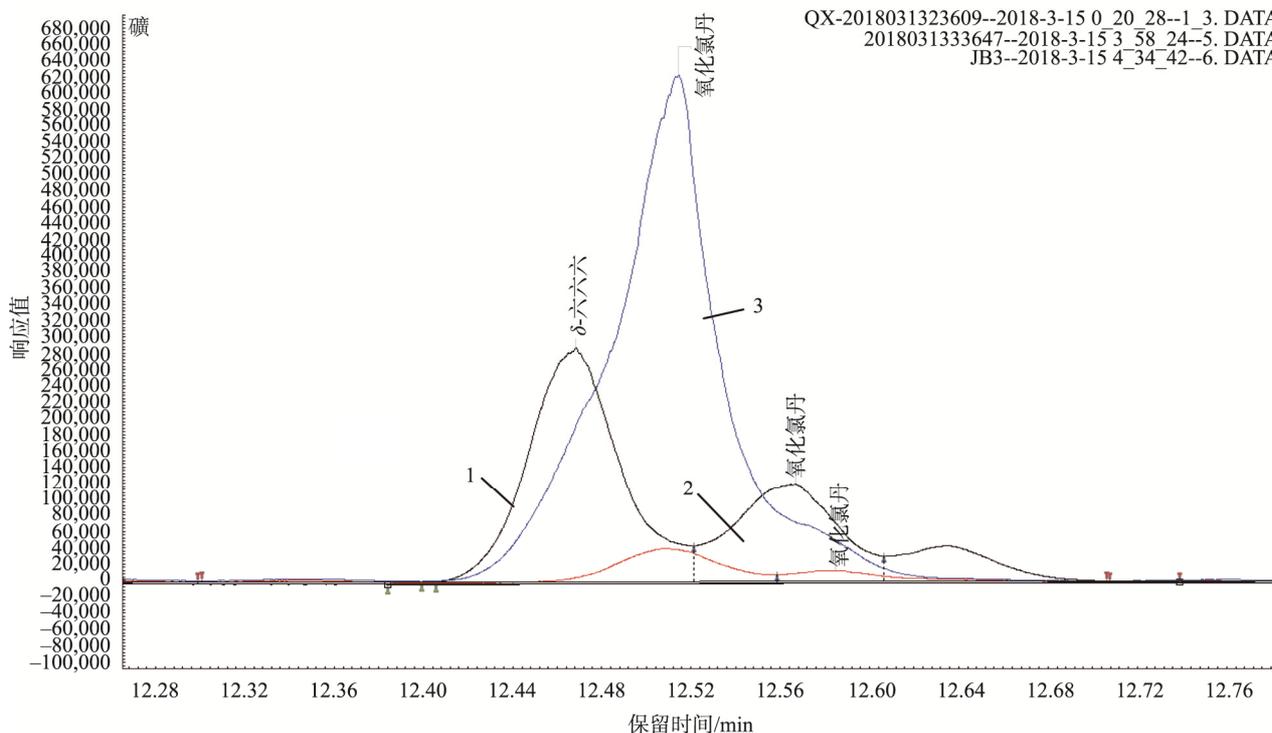
### 2.2.4 调试条件对比

在调试柱温箱升温程序时,每次只改变一个条件,例如:其中一步的升温速率、阶段温度、不同温度下的保持时间等,这样可以对比改变前后的色谱图,寻找差异,为下一步条件改变做准备。如果同时改变多个条件,对比改变前后的色谱图,无法确定色谱图的改变的条件或多个条件共同影响的,无法确定下一步改变的条件。

## 2.3 升温程序调试前后对比

对于文中 DB-1701P 色谱柱,部分实验室使用的升温程序可以将标准品完好的分离,但检测样品时不能很好的将干扰峰与标准品峰分离,例如在丁体六六六和氧化氯丹中间有干扰峰,影响样品及回收率的检测,见图 3。

对于此现象,调试柱温箱升温程序时,需结合样品调试,需将标准品完好的分离,且将样品中的杂质与标准品分离。参考升温程序及标准品保留时间见表 3、表 4。



注: 1: 标准品, 2: 样品, 3: 加标样。

图 3 原升温程序色谱图

Fig.3 Original temperature programmed chromatogram

表 3 参考升温程序  
Table 3 Reference temperature rise program

升温速率/(°C/min)	温度/°C	保持时间/min	总时间/min
/	85	0	0
20	150	2	5.25
5	205	7	23.25
40	280	9	34.13

新调试的升温程序色谱图中干扰峰在丁体六六六和氧化氯丹后面, 完全分离出来, 不影响样品及回收率的检测。见图 4。

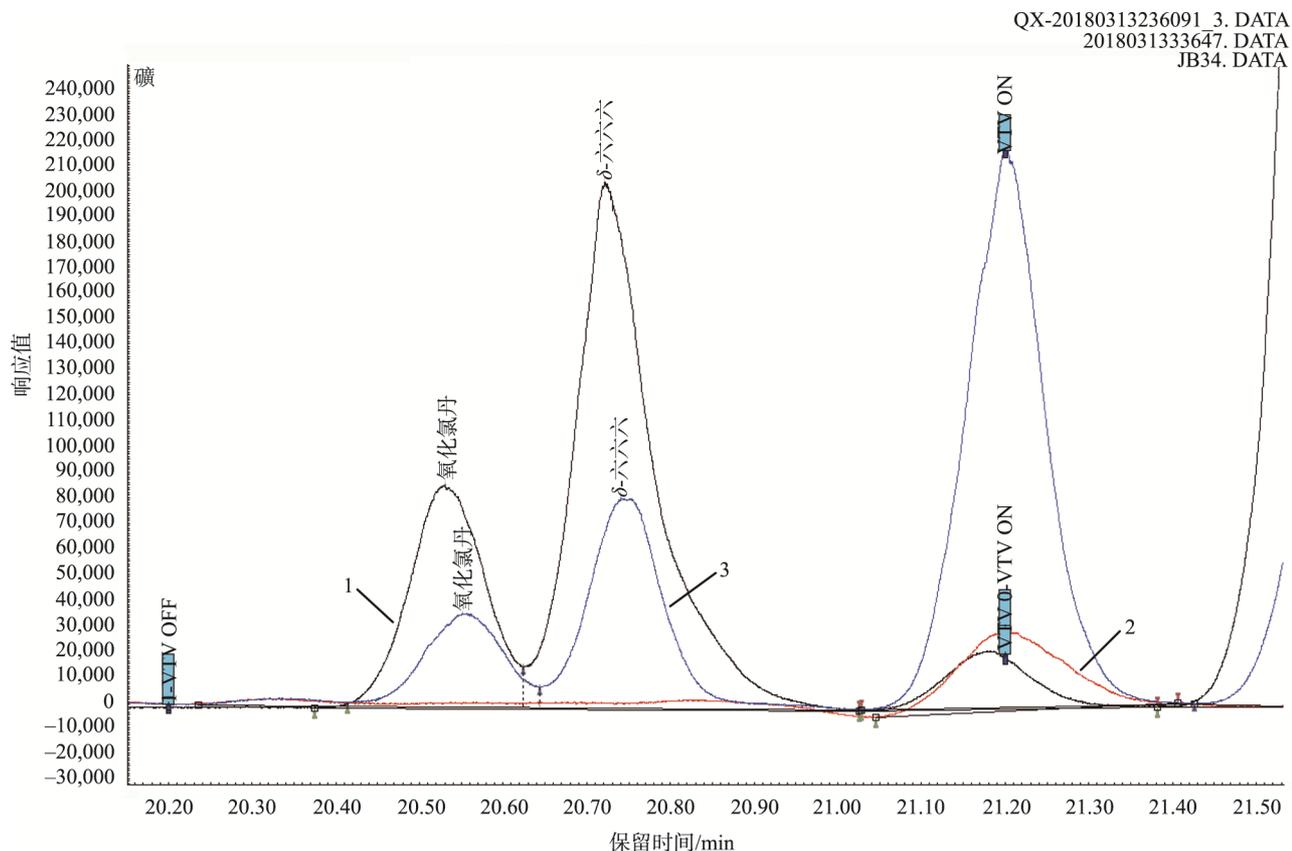
### 3 结 论

在气相色谱分析中, 柱温箱程序升温广泛应用。由于色谱柱的固定相不同, 检测的物质不同, 需要的柱温箱升温程序也各不相同。本研究通过分析牛奶中 18 种有机氯类农药残留的柱温箱升温程序调试过程, 对柱流速、升温速率、不同温度下的保持时间等调试步骤对分离色谱峰的

影响进行对比分析, 总结出升温程序的调试方法, 可以快速、有效地调试柱温箱升温程序, 使目标峰与干扰峰完全分离, 减少干扰峰对结果的影响。柱温箱升温程序调试的关键是升温速率和保持时间, 同样适用于检测其他基质时, 柱温箱升温程序的调试。

表 4 参考标准品保留时间  
Table 4 Reference standard retention time

峰名称	保留时间/min	峰名称	保留时间/min
α-六六六	14.50	反式氯丹	24.13
林丹	16.10	顺式氯丹	24.28
七氯	16.89	p,p'-DDE	24.57
艾氏剂	18.13	狄氏剂	24.82
β-六六六	19.92	O,p'-DDT	25.33
氧化氯丹	21.16	p,p'-DDD	25.94
δ-六六六	21.35	β-硫丹	26.02
环氧七氯	22.27	p,p'-DDT	26.23
α-硫丹	23.88	硫丹硫酸盐	27.46



注: 1: 标准品, 2: 样品, 3: 加标样。

图4 新升温程序色谱图

Fig.4 Chromatogram of new heating procedure

## 参考文献

- 潘志强, 薛红, 陈伟华, 等. 工业用乙二醇气相色谱试验方法分析条件的优化[J]. 分析仪器, 2019, (4): 53-57.  
PAN ZQ, XUE H, CHEN WH, *et al.* Optimization of analytical conditions for industrial ethylene glycol by gas chromatography [J]. Anal Instrum, 2019, (4): 53-57.
- 许原. 气相色谱法测定白酒中甲醇含量条件优化[J]. 云南民族大学学报(自然科学版), 2015 (6): 468-471.  
XU Y. Optimization of conditions for determination of methanol in liquor by gas chromatography [J]. J Yunnan Nation Univ (Nat Sci Ed), 2015 (6): 468-471.
- 石宝清, 由田. 难分离物质最佳气相色谱分离条件的选择[J]. 分析仪器, 2003, (3): 38-39.  
SHI BQ, YOU T. Selection of the best gas chromatographic separation conditions for refractory substances [J]. Anal Instrum, 2003, (3): 38-39.
- 左喜成, 李月强, 连凯旋. 气相色谱仪使用条件的优化组合[J]. 城市建设理论研究: 电子版, 2014, (17): 867-867.  
ZUO XC, LI YQ, LIAN KX. Optimal combination of operating conditions for gas chromatograph [J]. Theor Res Urban Constr: Elec Version, 2014, (17): 867-867.
- 蒋小平, 赵登科. 程序升温气相色谱法零相差控制[J]. 北京: 中国科技论文在线, 2012.  
JIANG XP, ZHAO DK. Zero phase difference control of temperature programmed gas chromatography [J]. Beijing: China Sci Papers Online, 2012.
- 许峰. 快速程序升温气相色谱系统研究[D]. 大连: 中国科学院大连化学物理研究所, 2008.  
XU F. Study on fast temperature programmed gas chromatography system [D]. Dalian: Dalian Inst Chem Physics, Chin Academy Sci, 2008.
- 孙青, 李松. 高压气相色谱法快速测定痕量长链烯酮[J]. 岩矿测试, 2008, 27(1): 5-8.  
SUN Q, LI S. Rapid determination of trace long chain alkenones by high pressure gas chromatography [J]. Rock Ore Testing, 2008, 27(1): 5-8.
- 邹洁, 张征, 颜春荣, 等. 食用油脂脂肪酸组成测定中的气相色谱分离条件优化[J]. 食品科学, 2011, 32(s2): 77-81.  
ZOU J, ZHANG Z, YAN CR, *et al.* Optimization of gas chromatographic separation conditions in determination of fatty acid composition of edible oil [J]. Food Sci, 2011, 32(s2): 77-81.
- 孙秀. 气相色谱法测定天然气组成的条件优化[J]. 化学试剂, 2017, (4): 399-401.  
SUN X. Optimization of conditions for determination of natural gas composition by gas chromatography [J]. Chem Reagents, 2017, (4): 399-401.
- 李菲. 农药标准物质的纯化与研制[D]. 北京: 北京化工大学, 2013.  
LI F. Purification and preparation of pesticide reference materials [D]. Beijing: Beijing University of Chemical Technology, 2013.

- [11] 赵映琴. 气相色谱法测定蔬菜中农药残留仪器条件分析[J]. 新疆农业科技, 2019, (1): 42-43.  
ZHAO YQ. Analysis of instrumental conditions for determination of pesticide residues in vegetables by gas chromatography [J]. Xinjiang Agric Sci Technol, 2019, (1): 42-43.
- [12] 陈星宇. 气相色谱法检测有机氯农药的条件优化[J]. 质量技术监督研究, 2016, (1): 15-17, 21.  
CHEN XY. Optimization of detection conditions of organochlorine pesticides by gas chromatography [J]. Res Qual Tech Supervision, 2016, (1): 15-17, 21.
- [13] 王争争, 平丽娟, 郭明刚, 等. 乳制品中有机氯类农药残留杂质的检测[J]. 中国乳品工业, 2015, 43(12): 33-36.  
WANG ZZ, PING LJ, GUO MG, *et al.* Determination of organochlorine pesticide residues in dairy products [J]. China Dairy Ind, 2015, 43(12): 33-36.
- [14] 王争争, 郭明刚, 范丽丽, 等. 气相色谱法检测牛奶中有机氯类农药残留前处理的优化[J]. 食品安全质量检测学报, 2020, 11(5): 1390-1399.  
WANG ZZ, GUO MG, FAN LL, *et al.* Optimization of pretreatment for determination of organochlorine pesticide residues in milk by gas chromatography [J]. J Food Saf Qual, 2020, 11(5): 1390-1399.
- [15] 张琦, 王艳飞, 王争争, 等. 气相色谱的色谱柱气体流速、柱温箱升温程序对检测乳制品中六六六、滴滴涕的影响[J]. 中国食品工业, 2013, (4): 59-61.  
ZHANG Q, WANG YF, WANG ZZ, *et al.* Effects of gas flow rate of gas chromatography column and heating program of column incubator on determination of BHC and DDT in dairy products [J]. China's Food Ind, 2013, (4): 59-61.
- [16] 张琦, 王争争, 王艳飞, 等. 气相色谱的进样口温度、柱温箱温度对检测乳制品中六六六、滴滴涕的影响[J]. 中国食品工业, 2013, (4): 54-55, 57.  
ZHANG Q, WANG ZZ, WANG YF, *et al.* Effects of inlet temperature and column temperature on the determination of BHC and DDT in dairy products [J]. China's Food Ind, 2013, (4): 54-55, 57.

(责任编辑: 王 欣)

### 作者简介



王争争, 工程师, 主要研究方向为食品工程方面的研究和检验。  
E-mail: 546199993@qq.com

常建军, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为乳品质量安全研究。  
E-mail: changjianjun@mengniu.cn

## 食品加工工艺优化及应用研究

随之人类对自身健康的关注及生活水平的提高, 加工食品因保持其原色、原味及食品营养成分的优越性备受关注。越来越多的新工艺新方法应用于食品加工业, 尤其是多种工艺的综合利用, 对食品行业的发展起到了巨大的推动作用。

鉴于此, 本刊特别策划“食品加工工艺优化及应用研究”专题, 主要围绕加工工艺优化(提取工艺优化、配方优化、纯化优化、制备优化、响应面法优化等)、食品加工的综合利用及评价等问题展开讨论, 计划在 2021 年 2/3 月出版。

鉴于您在该领域的成就, 学报主编国家食品安全风险评估中心 吴永宁 研究员特邀请您为本专题撰写稿件, 以期进一步提升该专题的学术质量和影响力, 综述及研究论文均可。请在 2021 年 1 月 30 日前通过网站或 E-mail 投稿。我们将快速处理并经审稿合格后优先发表。

同时烦请您帮忙在同事之间转发一下, 希望您能够推荐该领域的相关专家并提供电话和 E-mail。再次感谢您的关怀与支持!

投稿方式(注明专题食品加工工艺优化及应用研究):

网站: [www.chinafoodj.com](http://www.chinafoodj.com)(备注:投稿请登录食品安全质量检测学报主页-作者

登录-注册投稿-投稿栏目选择“2020 专题: 食品加工工艺优化及应用研究”)

邮箱投稿: E-mail: [jfoodsqa@126.com](mailto:jfoodsqa@126.com)(备注: 食品加工工艺优化及应用研究专题投稿)

《食品安全质量检测学报》编辑部