



中华人民共和国国家标准

GB 5009.240—2023

食品安全国家标准  
食品中伏马菌素的测定

2023-09-06 发布

2024-03-06 实施

中华人民共和国国家卫生健康委员会  
国 家 市 场 监 督 管 理 总 局 发 布

## 前　　言

本标准代替 GB 5009.240—2016《食品安全国家标准 食品中伏马毒素的测定》。

本标准与 GB 5009.240—2016 相比,主要变化如下:

- 标准名称修改为《食品安全国家标准 食品中伏马菌素的测定》;
- 扩大了方法的适用范围;
- 修改了各方法的线性范围;
- 修改了各方法的检出限、定量限;
- 修改了柱容量及柱回收率验证方法。

# 食品安全国家标准

## 食品中伏马菌素的测定

### 1 范围

本标准规定了食品中伏马菌素的免疫亲和柱净化-柱后衍生高效液相色谱、高效液相色谱-串联质谱以及免疫亲和柱净化-柱前衍生高效液相色谱测定方法。

本标准适用于谷物及其制品、婴幼儿谷类辅助食品、植物油脂中伏马菌素 B<sub>1</sub>、伏马菌素 B<sub>2</sub>、伏马菌素 B<sub>3</sub>(以下简称 FB<sub>1</sub>、FB<sub>2</sub>、FB<sub>3</sub>)的测定。

### 第一法 免疫亲和柱净化-柱后衍生高效液相色谱法

### 2 原理

试样经提取,免疫亲和柱净化,C<sub>18</sub>反相色谱柱分离,邻苯二甲醛衍生,荧光检测器检测,外标法定量。

### 3 试剂和材料

除非另有说明,本方法所用试剂均为分析纯,水为 GB/T 6682 规定的一级水。

#### 3.1 试剂

- 3.1.1 甲醇(CH<sub>3</sub>OH):色谱纯。
- 3.1.2 乙腈(CH<sub>3</sub>CN):色谱纯。
- 3.1.3 甲酸(HCOOH):色谱纯。
- 3.1.4 乙酸(CH<sub>3</sub>COOH)。
- 3.1.5 氢氧化钠(NaOH)。
- 3.1.6 氯化钠(NaCl)。
- 3.1.7 磷酸氢二钠(Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>)。
- 3.1.8 磷酸二氢钾(KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)。
- 3.1.9 氯化钾(KCl)。
- 3.1.10 硼砂(Na<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub> · 10H<sub>2</sub>O)。
- 3.1.11 2-巯基乙醇(C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>OS)。
- 3.1.12 邻苯二甲醛(C<sub>8</sub>H<sub>6</sub>O, OPA)。
- 3.1.13 吐温-20(C<sub>58</sub>H<sub>114</sub>O<sub>26</sub>)。
- 3.1.14 盐酸(HCl)。

#### 3.2 试剂配制

- 3.2.1 甲酸-水溶液(0.1%):准确移取 1 mL 甲酸,用水稀释至 1 000 mL,混合均匀。

- 3.2.2 乙腈-水溶液(50+50):分别量取 500 mL 乙腈和 500 mL 水,混合均匀。
- 3.2.3 乙腈-水溶液(20+80):分别量取 20 mL 乙腈和 80 mL 水,混合均匀。
- 3.2.4 甲醇-乙酸溶液(98+2):准确移取 2 mL 乙酸,用甲醇稀释至 100 mL,混合均匀。
- 3.2.5 氢氧化钠溶液(2 mol/L):准确称取氢氧化钠 8.0 g,加 50 mL 水溶解,冷却后,用水稀释至 100 mL,混合均匀。
- 3.2.6 磷酸盐缓冲液(PBS):称取 8.0 g 氯化钠、1.2 g 磷酸氢二钠、0.2 g 磷酸二氢钾、0.2 g 氯化钾,用 980 mL 水溶解,用盐酸调整 pH 至 7.4,用水稀释至 1 000 mL,混合均匀。
- 3.2.7 吐温-20/PBS 溶液(0.1%):称取 1.0 g 吐温-20,加入磷酸盐缓冲液并稀释至 1 000 mL,混合均匀。
- 3.2.8 硼砂溶液(0.05 mol/L,pH 10.5):称取硼砂 19.1 g,溶于 980 mL 水中,用氢氧化钠溶液调 pH 至 10.5,用水稀释至 1 000 mL,混合均匀。
- 3.2.9 衍生溶液:称取 0.5 g 邻苯二甲醛,溶于 20 mL 甲醇中,用硼砂溶液(0.05 mol/L,pH 10.5)稀释至 500 mL,加入 2-巯基乙醇 500  $\mu$ L,混匀,过滤后装入棕色瓶中,室温避光,可保存 1 周。

### 3.3 标准品

- 3.3.1 伏马菌素 B<sub>1</sub>(C<sub>34</sub>H<sub>59</sub>NO<sub>15</sub>,FB<sub>1</sub>,CAS 号:116355-83-0),纯度≥95%,或经国家认证并授予标准物质证书的标准物质。
- 3.3.2 伏马菌素 B<sub>2</sub>(C<sub>34</sub>H<sub>59</sub>NO<sub>14</sub>,FB<sub>2</sub>,CAS 号:116355-84-1),纯度≥95%,或经国家认证并授予标准物质证书的标准物质。
- 3.3.3 伏马菌素 B<sub>3</sub>(C<sub>34</sub>H<sub>59</sub>NO<sub>14</sub>,FB<sub>3</sub>,CAS 号:136379-59-4),纯度≥95%,或经国家认证并授予标准物质证书的标准物质。

### 3.4 标准溶液配制

- 3.4.1 标准储备溶液(100  $\mu$ g/mL):分别准确称取 FB<sub>1</sub>、FB<sub>2</sub> 和 FB<sub>3</sub> 各 10 mg(精确至 0.01 mg)至小烧杯中,用乙腈-水溶液(50+50)溶解,分别转移至 100 mL 容量瓶中,以乙腈-水溶液(50+50)定容至刻度。于-18 ℃下避光保存,有效期 6 个月。
- 3.4.2 混合标准储备溶液:准确移取 FB<sub>1</sub> 标准储备液 1.0 mL、FB<sub>2</sub> 和 FB<sub>3</sub> 标准储备液各 0.5 mL 至同一 10 mL 容量瓶中,加乙腈-水溶液(50+50)稀释至刻度,FB<sub>1</sub> 质量浓度为 10  $\mu$ g/mL、FB<sub>2</sub> 和 FB<sub>3</sub> 质量浓度为 5  $\mu$ g/mL。于-18 ℃下避光保存,有效期 6 个月。
- 3.4.3 混合标准工作溶液:准确移取混合标准储备溶液 1.0 mL 至 10.0 mL 容量瓶中,加乙腈-水溶液(50+50)稀释,定容至刻度,FB<sub>1</sub> 质量浓度为 1  $\mu$ g/mL、FB<sub>2</sub> 和 FB<sub>3</sub> 质量浓度为 0.5  $\mu$ g/mL。于 4 ℃下避光保存,有效期 6 个月。
- 3.4.4 混合标准系列工作溶液:准确移取混合标准工作溶液,用乙腈-水溶液(20+80)稀释,配制成 FB<sub>1</sub> 质量浓度依次为 20.0 ng/mL、80.0 ng/mL、160 ng/mL、240 ng/mL、320 ng/mL、400 ng/mL、480 ng/mL,FB<sub>2</sub> 和 FB<sub>3</sub> 质量浓度依次为 10.0 ng/mL、40.0 ng/mL、80.0 ng/mL、120 ng/mL、160 ng/mL、200 ng/mL、240 ng/mL 的混合标准系列工作溶液。临用现配。

### 3.5 材料

- 3.5.1 免疫亲和柱(柱容量及柱回收率验证方法参见附录 D)。

注:在使用前需对每个批次的亲和柱进行柱容量及柱回收率验证。

- 3.5.2 微孔滤膜:0.45  $\mu$ m,有机型。

## 4 仪器和设备

- 4.1 高效液相色谱仪,带荧光检测器。
- 4.2 柱后衍生系统。
- 4.3 天平:感量 0.01 g 和 0.01 mg。
- 4.4 均质器:转速 $\geq 2\,000\text{ r/min}$ 。
- 4.5 振荡器(转速 $\geq 1\,000\text{ r/min}$ )或超声波提取仪(功率 $\geq 500\text{ W}$ )。
- 4.6 离心机:转速 $\geq 4\,000\text{ r/min}$ 。
- 4.7 氮吹仪。

## 5 分析步骤

### 5.1 试样制备

谷物及其制品、婴幼儿谷类辅助食品采样量不低于 1 kg;样品量不足 1 kg,取全部试样。用高速粉碎机将其粉碎,粉碎粒度应小于 1 mm。混合均匀后储存于洁净的容器内,密封后置于 4 ℃下避光保存。

植物油脂采样量不低于 1 kg;样品量不到 1 kg,取全部试样。混合均匀后储存于洁净的容器内,密封后置于 4 ℃下避光保存。

在制样的操作过程中,应防止样品受到污染或发生伏马菌素含量的变化。

### 5.2 试样提取

#### 5.2.1 谷物及其制品、婴幼儿谷类辅助食品

准确称取试样 20 g(精确至 0.01 g)于 250 mL 三角烧瓶中,准确加入 100 mL 乙腈-水(50+50)提取液,超声或振荡提取 20 min,转移 20 mL 提取液至 50 mL 离心管中,在 4 000 r/min 下离心 10 min,待净化。

#### 5.2.2 植物油脂

植物油脂提取过程按 5.2.1 步骤操作,提取液为下层。

### 5.3 试样净化

#### 5.3.1 婴幼儿谷类辅助食品

准确移取 5.0 mL 提取液,加入 45.0 mL 吐温-20/PBS 溶液进行稀释,混合均匀后在 4 000 r/min 下离心 10 min,取上清液全部过免疫亲和柱,流速控制 1 mL/min~2 mL/min,然后用 10 mL PBS 缓冲液和 10 mL 水依次淋洗免疫亲和柱,再用 3 mL 甲醇-乙酸溶液分 3 次洗脱免疫亲和柱,收集合并洗脱液,55 ℃下氮气吹干,加入 1 mL 乙腈-水溶液(20+80)溶解残渣,涡旋 30 s,过微孔滤膜后,收集于进样瓶中,待测。

#### 5.3.2 谷物及其制品、植物油脂

准确移取 0.5 mL 提取液,加入 4.5 mL 吐温-20/PBS 溶液进行稀释,混合均匀后在 4 000 r/min 下离心 10 min,上清液全部过免疫亲和柱,流速控制 1 mL/min~2 mL/min,然后依次用 10 mL PBS 缓冲液和 10 mL 水淋洗免疫亲和柱,再用 3 mL 甲醇-乙酸溶液分 3 次洗脱免疫亲和柱,收集合并洗脱液。

55 °C下氮气吹干,加入1 mL乙腈-水溶液(20+80)溶解残渣,涡旋30 s,过微孔滤膜后,收集于进样瓶中,待测。

注：由于不同厂商提供的免疫亲和柱操作程序可能不同，实际操作时，请参照厂商提供的操作说明和程序使用。

#### 5.4 仪器参考条件

- 5.4.1 色谱柱:C<sub>18</sub>,粒径5 μm,4.6×250 mm,或相当者。
  - 5.4.2 检测波长:激发波长335 nm;发射波长440 nm。
  - 5.4.3 流动相:A:甲酸-水溶液(0.1%);B:甲醇。梯度洗脱,洗脱程序见表1。
  - 5.4.4 流动相流速:0.8 mL/min。
  - 5.4.5 衍生液流速:0.4 mL/min。
  - 5.4.6 柱温:40 °C。
  - 5.4.7 反应器温度:40 °C。
  - 5.4.8 进样量:50 μL。

表 1 流动相洗脱程序

时间 min	流动相 A %	流动相 B %
0.00	45.0	55.0
2.00	45.0	55.0
9.00	30.0	70.0
14.00	10.0	90.0
16.00	10.0	90.0
16.50	45.0	55.0
22.00	45.0	55.0

## 5.5 标准曲线的制作

将混合标准系列工作液从低浓度到高浓度分别注入高效液相色谱仪中,测定相应的峰面积。以标准溶液浓度为横坐标,以峰面积为纵坐标,绘制标准曲线。伏马菌素标准溶液的柱后衍生-高效液相色谱图参见附录 A。

## 5.6 试样溶液的测定

将待测溶液进样，得到对应的峰面积，根据标准曲线计算待测溶液中  $\text{FB}_1$ 、 $\text{FB}_2$ 、 $\text{FB}_3$  的浓度。

## 5.7 空白试验

不称取试样,按 5.2 和 5.3 的步骤做空白试验。

## 6 分析结果的表述

待测样品中  $\text{FB}_1$ 、 $\text{FB}_2$ 、 $\text{FB}_3$  的含量按式(1)计算。

式中：

- $X$  ——待测样品中  $\text{FB}_1$ 、 $\text{FB}_2$ 、 $\text{FB}_3$  的含量,单位为微克每千克( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )；
- $\rho$  ——待测溶液中  $\text{FB}_1$ 、 $\text{FB}_2$ 、 $\text{FB}_3$  的质量浓度,单位为纳克每毫升( $\text{ng}/\text{mL}$ )；
- $\rho_0$  ——空白试验测得  $\text{FB}_1$ 、 $\text{FB}_2$ 、 $\text{FB}_3$  的质量浓度,单位为纳克每毫升( $\text{ng}/\text{mL}$ )；
- $V_1$  ——提取溶液的体积,单位为毫升( $\text{mL}$ )；
- $V_2$  ——进样溶液的定容体积,单位为毫升( $\text{mL}$ )；
- 1 000——换算系数；
- $m$  ——样品的称样量,单位为克( $\text{g}$ )；
- $V_3$  ——用于净化的提取溶液体积,单位为毫升( $\text{mL}$ )。

测定结果用平行测定的算术平均值表示,保留 3 位有效数字。

## 7 精密度

在重复性条件下获得的 2 次独立测定结果的绝对差值不得超过算术平均值的 20%。

## 8 其他

谷物及其制品、植物油脂,当称样量为 20.0 g 时, $\text{FB}_1$ 、 $\text{FB}_2$  和  $\text{FB}_3$  的检出限分别为 60.0  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 、30.0  $\mu\text{g}/\text{kg}$  和 30.0  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ,定量限分别为 200  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 、100  $\mu\text{g}/\text{kg}$  和 100  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。

婴幼儿谷类辅助食品,当称样量为 20.0 g 时, $\text{FB}_1$ 、 $\text{FB}_2$  和  $\text{FB}_3$  的检出限分别为 6.00  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 、3.00  $\mu\text{g}/\text{kg}$  和 3.00  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ,定量限分别为 20.0  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 、10.0  $\mu\text{g}/\text{kg}$  和 10.0  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。

## 第二法 高效液相色谱-串联质谱法

## 9 原理

试样经提取,加入同位素内标,免疫亲和柱或强阴离子交换固相萃取柱净化, $\text{C}_{18}$  反相色谱柱分离,串联质谱仪检测,内标法定量。

## 10 试剂和材料

除非另有说明,本方法所用试剂均为分析纯,水为 GB/T 6682 规定的一级水。

### 10.1 试剂

- 10.1.1 甲醇( $\text{CH}_3\text{OH}$ ):色谱纯。
- 10.1.2 乙腈( $\text{CH}_3\text{CN}$ ):色谱纯。
- 10.1.3 甲酸( $\text{HCOOH}$ ):色谱纯。
- 10.1.4 氯化钠( $\text{NaCl}$ )。
- 10.1.5 磷酸氢二钠( $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ )。
- 10.1.6 磷酸二氢钾( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ )。
- 10.1.7 氯化钾( $\text{KCl}$ )。
- 10.1.8 吐温-20( $\text{C}_{58}\text{H}_{114}\text{O}_{26}$ )。

10.1.9 乙酸( $\text{CH}_3\text{COOH}$ )。

## 10.2 试剂配制

- 10.2.1 甲酸-水溶液(0.1%):准确移取 1.0 mL 甲酸,用水稀释至 1 000 mL 水中,混合均匀。
- 10.2.2 乙腈-甲醇溶液(50+50):分别量取 500 mL 甲醇和 500 mL 乙腈,混合均匀。
- 10.2.3 乙腈-水溶液(50+50):分别量取 500 mL 乙腈和 500 mL 水,混合均匀。
- 10.2.4 乙腈-水溶液(20+80):分别量取 20 mL 乙腈和 80 mL 水,混合均匀。
- 10.2.5 甲醇-水溶液(60+20):分别量取 600 mL 甲醇和 200 mL 水,混合均匀。
- 10.2.6 甲醇-乙酸溶液(99+1):准确移取 1.0 mL 乙酸,用甲醇稀释至 100 mL,混合均匀。
- 10.2.7 甲醇-乙酸溶液(98+2):准确移取 2.0 mL 乙酸,用甲醇稀释至 100 mL,混合均匀。
- 10.2.8 磷酸盐缓冲液(PBS):称取 8.0 g 氯化钠、1.2 g 磷酸氢二钠、0.2 g 磷酸二氢钾、0.2 g 氯化钾,用 980 mL 水溶解,用盐酸调整 pH 至 7.4,用水稀释至 1 000 mL,混合均匀。
- 10.2.9 吐温-20/PBS 溶液(0.1%):称量 1.0 g 吐温-20,加入磷酸盐缓冲液并稀释至 1 000 mL,混合均匀。

## 10.3 标准品

- 10.3.1 伏马菌素 B<sub>1</sub>(FB<sub>1</sub>,  $\text{C}_{34}\text{H}_{59}\text{NO}_{15}$ , CAS 号: 116355-83-0), 纯度  $\geq 95\%$ , 或经国家认证并授予标准物质证书的标准物质。
- 10.3.2 伏马菌素 B<sub>2</sub>(FB<sub>2</sub>,  $\text{C}_{34}\text{H}_{59}\text{NO}_{14}$ , CAS 号: 116355-84-1), 纯度  $\geq 95\%$ , 或经国家认证并授予标准物质证书的标准物质。
- 10.3.3 伏马菌素 B<sub>3</sub>(FB<sub>3</sub>,  $\text{C}_{34}\text{H}_{59}\text{NO}_{14}$ , CAS 号: 136379-59-4), 纯度  $\geq 95\%$ , 或经国家认证并授予标准物质证书的标准物质。
- 10.3.4  $^{13}\text{C}_{34}$ -伏马菌素 B<sub>1</sub> 标准溶液( $^{13}\text{C}_{34}$ -FB<sub>1</sub>, 25  $\mu\text{g}/\text{mL}$ )。
- 10.3.5  $^{13}\text{C}_{34}$ -伏马菌素 B<sub>2</sub> 标准溶液( $^{13}\text{C}_{34}$ -FB<sub>2</sub>, 10  $\mu\text{g}/\text{mL}$ )。
- 10.3.6  $^{13}\text{C}_{34}$ -伏马菌素 B<sub>3</sub> 标准溶液( $^{13}\text{C}_{34}$ -FB<sub>3</sub>, 10  $\mu\text{g}/\text{mL}$ )。

## 10.4 标准溶液配制

- 10.4.1 标准储备溶液(100  $\mu\text{g}/\text{mL}$ ):分别准确称取 FB<sub>1</sub>、FB<sub>2</sub> 和 FB<sub>3</sub> 各 10 mg(精确至 0.01 mg)至小烧杯中,用乙腈-水溶液(50+50)溶解,分别转移至 100 mL 容量瓶中定容至刻度,FB<sub>1</sub>、FB<sub>2</sub> 和 FB<sub>3</sub> 质量浓度分别为 100  $\mu\text{g}/\text{mL}$ 。于 -18 °C 下避光保存,有效期 6 个月。
- 10.4.2 混合标准储备溶液:准确移取 FB<sub>1</sub> 标准储备液 1.0 mL、FB<sub>2</sub> 和 FB<sub>3</sub> 标准储备液各 0.5 mL 至同一 10 mL 容量瓶中,加乙腈-水溶液(50+50)稀释,定容至刻度,制成 FB<sub>1</sub> 质量浓度为 10  $\mu\text{g}/\text{mL}$ 、FB<sub>2</sub> 和 FB<sub>3</sub> 质量浓度分别为 5  $\mu\text{g}/\text{mL}$  的混合标准溶液。于 -18 °C 下避光保存,有效期 6 个月。
- 10.4.3 混合标准工作溶液:准确移取混合标准储备溶液 1.0 mL 至 10 mL 容量瓶中,加乙腈-水溶液(50+50)稀释,定容至刻度,FB<sub>1</sub> 质量浓度为 1.0  $\mu\text{g}/\text{mL}$ 、FB<sub>2</sub> 和 FB<sub>3</sub> 质量浓度分别为 0.5  $\mu\text{g}/\text{mL}$  的混合标准工作溶液。于 4 °C 下避光保存,有效期 6 个月。

## 10.5 同位素内标溶液配制

- 10.5.1 混合同位素标准储备溶液:准确移取  $^{13}\text{C}_{34}$ -FB<sub>1</sub>(25  $\mu\text{g}/\text{mL}$ )、 $^{13}\text{C}_{34}$ -FB<sub>2</sub>(10  $\mu\text{g}/\text{mL}$ ) 和  $^{13}\text{C}_{34}$ -FB<sub>3</sub>(10  $\mu\text{g}/\text{mL}$ ) 各 1 mL 至同一 10 mL 容量瓶中,加乙腈-水溶液(50+50)稀释,定容至刻度, $^{13}\text{C}_{34}$ -FB<sub>1</sub> 质量浓度为 2.5  $\mu\text{g}/\text{mL}$ 、 $^{13}\text{C}_{34}$ -FB<sub>2</sub> 和  $^{13}\text{C}_{34}$ -FB<sub>3</sub> 质量浓度分别为 1  $\mu\text{g}/\text{mL}$ ,于 -18 °C 以下避光保存,有效期 6 个月。
- 10.5.2 混合同位素标准工作溶液:准确移取 1.0 mL 混合同位素标准储备溶液至 10 mL 容量瓶中,

乙腈-水液(50+50)稀释,定容至刻度, $^{13}\text{C}_{34}\text{-FB}_1$  250 ng/mL、 $^{13}\text{C}_{34}\text{-FB}_2$  和  $^{13}\text{C}_{34}\text{-FB}_3$  质量浓度分别为100 ng/mL,于4 ℃下避光保存,有效期6个月。

## 10.6 混合标准系列工作溶液配制

准确移取混合标准工作溶液,用乙腈-水溶液(20+80)稀释,加入混合同位素标准工作溶液,配制成 $\text{FB}_1$ 质量浓度为20.0 ng/mL、80.0 ng/mL、160 ng/mL、240 ng/mL、320 ng/mL、400 ng/mL、480 ng/mL, $\text{FB}_2$ 和 $\text{FB}_3$ 质量浓度为10.0 ng/mL、40.0 ng/mL、80.0 ng/mL、120 ng/mL、160 ng/mL、200 ng/mL、240 ng/mL的混合标准系列工作溶液,每个标准工作溶液中 $^{13}\text{C}_{34}\text{-FB}_1$ 、 $^{13}\text{C}_{34}\text{-FB}_2$ 和 $^{13}\text{C}_{34}\text{-FB}_3$ 质量浓度分别为50.0 ng/mL、20.0 ng/mL和20.0 ng/mL。临用现配。

## 10.7 材料

### 10.7.1 免疫亲和柱(柱容量及柱回收率验证方法参见附录D)。

注:在使用前需对每个批次的亲和柱进行柱容量及柱回收率验证。

### 10.7.2 强阴离子交换固相萃取柱(6 mL,500 mg)。

### 10.7.3 微孔滤膜:0.22 $\mu\text{m}$ ,有机型。

## 11 仪器和设备

### 11.1 高效液相色谱-串联质谱仪:配电喷雾离子源。

### 11.2 天平:感量0.01 g和0.01 mg。

### 11.3 均质器:转速 $\geqslant$ 2 000 r/min。

### 11.4 振荡器(转速 $\geqslant$ 1 000 r/min)或超声波提取仪:功率 $\geqslant$ 500 W。

### 11.5 离心机:转速 $\geqslant$ 4 000 r/min。

### 11.6 氮吹仪。

## 12 分析步骤

### 12.1 试样制备

谷物及其制品、婴幼儿谷类辅助食品采样量不低于1 kg;样品量不足1 kg,取全部试样。用高速粉碎机将其粉碎,粉碎粒度应小于1 mm。混合均匀后储存于洁净的容器内,密封后置于4 ℃下避光保存。

植物油脂采样量不低于1 kg;样品量不到1 kg,取全部试样。混合均匀后储存于洁净的容器内,密封后置于4 ℃下避光保存。

在制样的操作过程中,应防止样品受到污染或发生伏马菌素含量的变化。

### 12.2 试样提取

#### 12.2.1 谷物及其制品、婴幼儿谷类辅助食品

准确称取试样20 g(精确至0.01 g)于250 mL三角烧瓶中,准确加入100 mL乙腈-水(50+50)提取液,超声或振荡提取20 min。转移20 mL提取液至50 mL离心管中,在4 000 r/min下离心5 min,待净化。

#### 12.2.2 植物油脂

植物油脂提取过程同12.2.1,提取液在下层。

### 12.3 试样净化

#### 12.3.1 免疫亲和柱净化

##### 12.3.1.1 婴幼儿谷类辅助食品

准确移取 5.0 mL 提取液,加入 200  $\mu\text{L}$  混合同位素标准工作溶液、45.0 mL 吐温-20/PBS 溶液进行稀释,混合均匀后在 4 000 r/min 下离心 10 min,取全部上清液过免疫亲和柱,控制流速 1 mL/min~2 mL/min,用 10 mL PBS 缓冲液和 10 mL 水依次淋洗免疫亲和柱,再用 3 mL 甲醇-乙酸溶液(98+2)分 3 次洗脱免疫亲和柱,合并洗脱液。55 °C下氮气吹干,加入 1 mL 乙腈-水溶液(20+80)溶解残渣,涡旋 30 s,过微孔滤膜后,收集于进样瓶中,待测。

##### 12.3.1.2 谷物及其制品、植物油脂

准确移取 0.5 mL 提取液,加入 200  $\mu\text{L}$  混合同位素标准工作溶液、4.5 mL 吐温-20/PBS 溶液进行稀释,混合均匀后在 4 000 r/min 下离心 10 min,取全部上清液过免疫亲和柱,控制流速 1 mL/min~2 mL/min,用 10 mL PBS 缓冲液和 10 mL 水依次淋洗免疫亲和柱,再用 3 mL 甲醇-乙酸溶液(98+2)分 3 次洗脱免疫亲和柱,合并洗脱液。55 °C下氮气吹干,加入 1 mL 乙腈-水溶液(20+80)溶解残渣,涡旋 30 s,过微孔滤膜后,收集于进样瓶中,待测。

#### 12.3.2 强阴离子交换固相萃取净化柱

##### 12.3.2.1 婴幼儿谷类辅助食品

准确移取 5.0 mL 提取液,加入 200  $\mu\text{L}$  混合同位素标准工作溶液、15.0 mL 甲醇-水溶液(60+20)进行稀释,混合均匀后在 4 000 r/min 下离心 10 min,取全部上清液过强阴离子交换固相萃取柱(使用前依次用 6.0 mL 甲醇和 6.0 mL 水活化),控制流速 1 mL/min~2 mL/min,用 8 mL 甲醇水溶液(60+20)和 3 mL 甲醇依次淋洗,10 mL 甲醇-乙酸溶液(99+1)洗脱,收集洗脱液。55 °C下氮气吹干,加入 1 mL 乙腈-水溶液(20+80)溶解残渣,涡旋 30 s,过微孔滤膜后,收集于进样瓶中,待测。

##### 12.3.2.2 谷物及其制品、植物油脂

准确移取 0.5 mL 提取液,加入 200  $\mu\text{L}$  混合同位素标准工作溶液,5.0 mL 甲醇-水溶液(60+20)进行稀释,混合均匀后在 4 000 r/min 下离心 5 min,取全部上清液过强阴离子交换固相萃取柱(使用前依次用 6.0 mL 甲醇和 6.0 mL 水活化),控制流速 1 mL/min~2 mL/min,用 8 mL 甲醇水溶液(60+20)和 3 mL 甲醇依次淋洗,10 mL 甲醇-乙酸溶液(99+1)洗脱,收集洗脱液。55 °C下氮气吹干,加入 1 mL 乙腈-水溶液(20+80)溶解残渣,涡旋 30 s,过微孔滤膜后,收集于进样瓶中,待测。

注 1: 由于不同厂商提供的免疫亲和柱操作程序可能不同,实际操作时,请参照厂商提供的操作说明和程序使用。

注 2: 以上 2 种净化方式可选其一。

### 12.4 仪器参考条件

#### 12.4.1 液相色谱参考条件

液相色谱参考条件如下:

- a) 色谱柱:C<sub>18</sub>,粒径 1.7  $\mu\text{m}$ ,2.1 mm×100 mm,或相当者;
- b) 流动相:A:甲酸-水溶液(0.1%);B:乙腈-甲醇溶液(50+50);
- c) 梯度洗脱,梯度见表 2;
- d) 流速:0.35 mL/min;

- e) 柱温:35 °C;  
f) 进样量:10  $\mu$ L。

表 2 流动相洗脱程序

时间 min	流动相 A %	流动相 B %
0.00	70.0	30.0
2.30	30.0	70.0
4.00	30.0	70.0
4.20	0	100.0
4.80	0	100.0
5.00	70.0	30.0

#### 12.4.2 质谱参考条件

质谱参考条件如下:

- a) 离子化模式:ESI+;  
b) 质谱扫描方式:MRM(多反应监测);  
c) 毛细管电压:3.0 kV;  
d) 离子源温度:150 °C;  
e) 锥孔反吹气流量:50 L/h;  
f) 锥孔电压:30 V;  
g) 脱溶剂气温度:350 °C;  
h) 脱溶剂气流量:800 L/h。

监测离子对信息见表 3。

表 3 伏马菌素 FB<sub>1</sub>、FB<sub>2</sub>、FB<sub>3</sub> 的质谱参数

化合物	母离子 $m/z$	定量子离子		定性子离子	
		$m/z$	碰撞能量 eV	$m/z$	碰撞能量 eV
FB <sub>1</sub>	722	352	25	334	35
FB <sub>2</sub>	706	336	35	354	30
FB <sub>3</sub>	706	336	35	354	30
<sup>13</sup> C <sub>34</sub> -FB <sub>1</sub>	756	374	35	356	40
<sup>13</sup> C <sub>34</sub> -FB <sub>2</sub>	740	358	35	376	30
<sup>13</sup> C <sub>34</sub> -FB <sub>3</sub>	740	358	35	376	30

#### 12.5 标准曲线的制作

将伏马菌素混合标准系列工作液按浓度由低到高分别注入液相色谱-质谱仪中,获得相应的峰面积,以目标物质和各自内标的浓度比为横坐标,峰面积比值为纵坐标,绘制标准工作曲线。伏马菌素标

准溶液及对应的同位素内标溶液 MRM 色谱图参见附录 B。

## 12.6 定性测定

试样中目标化合物色谱峰的保留时间与相应标准溶液色谱峰的保留时间相比较,偏差在 $\pm 2.5\%$ 以内。每种化合物的质谱定性离子必须出现,至少应包括一个母离子和两个子离子,而且同一检测批次,对同一化合物试样溶液中的相对离子丰度与标准溶液的相对离子丰度比符合表 4 的要求。

表 4 定性确证时相对离子丰度的最大允许偏差

相对离子丰度( $k$ )	$k \geq 50\%$	$20\% \leq k < 50\%$	$10\% \leq k < 20\%$	$k \leq 10\%$
允许的最大偏差	$\pm 20\%$	$\pm 25\%$	$\pm 30\%$	$\pm 50\%$

## 12.7 定量测定

将按 12.3 处理得到的试样溶液经液相色谱-串联质谱仪分析, 得到伏马菌素 FB<sub>1</sub>、FB<sub>2</sub> 和 FB<sub>3</sub> 峰面积与对应的同位素内标物峰面积比值, 根据标准曲线计算待测液中伏马菌素 FB<sub>1</sub>、FB<sub>2</sub> 和 FB<sub>3</sub> 的含量。

标准工作溶液和样液中待测物的响应值均应在仪器线性响应范围内。如果含量超过标准曲线范围,需重新取样,将试样提取液稀释到适当浓度,同时增加相应内标添加量,使内标浓度与待测液浓度相匹配后分析。

## 12.8 空白试验

不称取试样,按 12.2 和 12.3 的步骤做空白试验。

### 13 分析结果的表述

本方法采用内标法定量。待测样品中  $\text{FB}_1$ 、 $\text{FB}_2$ 、 $\text{FB}_3$  的含量按式(2)计算。

式中：

$X$  ——待测样品中  $\text{FB}_1$ 、 $\text{FB}_2$ 、 $\text{FB}_3$  的含量, 单位为微克每千克 ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ );

ρ ——按照内标法在标准曲线中对应的  $FB_1$ 、 $FB_2$ 、 $FB_3$  的质量浓度, 单位为纳克每毫升(ng/mL);

$\rho_0$  ——空白试验测得  $FB_1$ 、 $FB_2$ 、 $FB_3$  的质量浓度, 单位为纳克每毫升(ng/mL);

$V_1$  —— 提取溶液的体积, 单位为毫升(mL);

$V_2$  ——进样溶液的定容体积,单位为毫升(mL);

1 000——换算系数；

*m* ——样品的称样量,单位为克(g);

$V_3$  ——用于净化的提取溶液体积,单位为毫升(mL)。

测定结果用平行测定的算术平均值表示,保留3位有效数字。

14 精密度

在重复性条件下获得的 2 次独立测定结果的绝对差值不得超过算术平均值的 20%。

## 15 其他

谷物及其制品、植物油脂,当称样量为 20.0 g 时,FB<sub>1</sub>、FB<sub>2</sub> 和 FB<sub>3</sub> 的检出限分别为 60.0  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 、30.0  $\mu\text{g}/\text{kg}$  和 30.0  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ,定量限分别为 200  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 、100  $\mu\text{g}/\text{kg}$  和 100  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。

婴幼儿谷类辅助食品,当称样量为 20.0 g 时,FB<sub>1</sub>、FB<sub>2</sub> 和 FB<sub>3</sub> 的检出限分别为 6.00  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 、3.00  $\mu\text{g}/\text{kg}$  和 3.00  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ,定量限分别为 20.0  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 、10.0  $\mu\text{g}/\text{kg}$  和 10.0  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。

## 第三法 免疫亲和柱净化-柱前衍生高效液相色谱法

## 16 原理

试样经提取,免疫亲和柱净化,邻苯二甲醛衍生,C<sub>18</sub> 反相色谱柱分离,荧光检测器检测,外标法定量。

## 17 试剂和材料

除非另有说明,本方法所用试剂均为分析纯,水为 GB/T 6682 规定的一级水。

### 17.1 试剂

- 17.1.1 甲醇(CH<sub>3</sub>OH):色谱纯。
- 17.1.2 乙腈(CH<sub>3</sub>CN):色谱纯。
- 17.1.3 甲酸(HCOOH):色谱纯。
- 17.1.4 甲酸铵(NH<sub>4</sub>COOH):色谱纯。
- 17.1.5 乙酸(CH<sub>3</sub>COOH)。
- 17.1.6 氢氧化钠(NaOH)。
- 17.1.7 氯化钠(NaCl)。
- 17.1.8 磷酸氢二钠(Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>)。
- 17.1.9 磷酸二氢钾(KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)。
- 17.1.10 氯化钾(KCl)。
- 17.1.11 硼砂(Na<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub> • 10H<sub>2</sub>O)。
- 17.1.12 2-巯基乙醇(C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>OS)。
- 17.1.13 邻苯二甲醛(C<sub>8</sub>H<sub>6</sub>O<sub>2</sub>,OPA)。
- 17.1.14 吐温-20(C<sub>58</sub>H<sub>114</sub>O<sub>26</sub>)。

### 17.2 试剂配制

- 17.2.1 甲酸铵-甲酸水溶液(0.1 mol/L,pH=3.3):称取 6.3 g 甲酸铵,溶于 980 mL 水中,用甲酸调 pH 至 3.3,用水稀释至 1 000 mL,混合均匀。
- 17.2.2 乙腈-水溶液(50+50):分别量取 500 mL 乙腈和 500 mL 水,混合均匀。
- 17.2.3 乙腈-水溶液(20+80):分别量取 20 mL 乙腈和 80 mL 水,混合均匀。
- 17.2.4 甲醇-乙酸溶液(98+2):准确移取 2.0 mL 乙酸,用甲醇稀释至 100 mL,混合均匀。
- 17.2.5 氢氧化钠溶液(2 mol/L):准确称取氢氧化钠 8.0 g,加 50 mL 水溶解,冷却后,用水稀释至

100 mL, 混合均匀。

17.2.6 磷酸盐缓冲液(PBS): 称取 8.0 g 氯化钠、1.2 g 磷酸氢二钠、0.2 g 磷酸二氢钾、0.2 g 氯化钾, 加 980 mL 水溶解, 然后用盐酸调整 pH 至 7.4, 最后用水稀释至 1 000 mL, 混合均匀。

17.2.7 吐温-20/PBS 溶液(0.1%): 称取 1.0 g 吐温-20, 加入磷酸盐缓冲液并稀释至 1 000 mL, 混合均匀。

17.2.8 硼砂溶液(0.1 mol/L): 称取硼砂 3.8 g, 用水溶解并稀释至 100 mL, 混合均匀。

17.2.9 衍生溶液: 准确称取 25 mg 邻苯二甲醛, 溶于 1 mL 的甲醇中, 用硼砂溶液(0.1 mol/L)50 mL 稀释, 加入 2-巯基乙醇 50  $\mu$ L, 混匀, 过滤后装入棕色瓶中, 室温避光, 可保存 1 周。

### 17.3 标准品

17.3.1 伏马菌素 B<sub>1</sub>(C<sub>34</sub>H<sub>59</sub>NO<sub>15</sub>, FB<sub>1</sub>, CAS 号: 116355-83-0), 纯度  $\geq 95\%$ , 或经国家认证并授予标准物质证书的标准物质。

17.3.2 伏马菌素 B<sub>2</sub>(C<sub>34</sub>H<sub>59</sub>NO<sub>14</sub>, FB<sub>2</sub>, CAS 号: 116355-84-1), 纯度  $\geq 95\%$ , 或经国家认证并授予标准物质证书的标准物质。

17.3.3 伏马菌素 B<sub>3</sub>(C<sub>34</sub>H<sub>59</sub>NO<sub>14</sub>, FB<sub>3</sub>, CAS 号: 136379-59-4), 纯度  $\geq 95\%$ , 或经国家认证并授予标准物质证书的标准物质。

### 17.4 标准溶液配制

17.4.1 标准储备溶液(100  $\mu$ g/mL): 分别准确称取 FB<sub>1</sub>、FB<sub>2</sub> 和 FB<sub>3</sub> 各 10 mg(精确至 0.01 mg)至小烧杯中, 用乙腈-水溶液(50+50)溶解, 分别转移至 100 mL 容量瓶中, 以乙腈-水溶液(50+50)定容至刻度。于-18 ℃下避光保存, 有效期 6 个月。

17.4.2 混合标准储备溶液: 准确移取 FB<sub>1</sub> 标准储备液 1.0 mL、FB<sub>2</sub> 和 FB<sub>3</sub> 标准储备液各 0.5 mL 至同一 10 mL 容量瓶中, 加乙腈-水溶液(50+50)稀释, 定容至刻度, FB<sub>1</sub> 的质量浓度为 10  $\mu$ g/mL, FB<sub>2</sub> 和 FB<sub>3</sub> 质量浓度分别为 5  $\mu$ g/mL。于-18 ℃下避光保存, 有效期 6 个月。

17.4.3 混合标准工作溶液: 准确移取混合标准储备溶液 1.0 mL 至 10.0 mL 容量瓶中, 加乙腈-水溶液(50+50)稀释, 定容至刻度, FB<sub>1</sub> 的质量浓度为 1.0  $\mu$ g/mL, FB<sub>2</sub> 和 FB<sub>3</sub> 质量浓度分别为 0.5  $\mu$ g/mL。于 4 ℃下避光保存, 有效期 6 个月。

17.4.4 混合标准系列工作溶液: 准确移取混合标准工作溶液, 用乙腈-水溶液(20+80)稀释, 配制成 FB<sub>1</sub> 质量浓度依次为 20.0 ng/mL、80.0 ng/mL、160 ng/mL、240 ng/mL、320 ng/mL、400 ng/mL、480 ng/mL, FB<sub>2</sub> 和 FB<sub>3</sub> 质量浓度依次为 10.0 ng/mL、40.0 ng/mL、80.0 ng/mL、120 ng/mL、160 ng/mL、200 ng/mL、240 ng/mL 的混合标准系列工作溶液。临用现配。

### 17.5 材料

17.5.1 免疫亲和柱(柱容量及柱回收率验证方法参见附录 D)。

注: 在使用前需对每个批次的亲和柱进行柱容量及柱回收率验证。

17.5.2 微孔滤膜: 0.45  $\mu$ m, 有机型。

## 18 仪器和设备

18.1 高效液相色谱仪: 带荧光检测器。

18.2 天平: 感量 0.01 g 和 0.01 mg。

18.3 均质器: 转速  $\geq 2 000$  r/min。

18.4 振荡器(转速  $\geq 1 000$  r/min)或超声波提取仪: 功率  $\geq 500$  W。

18.5 离心机:转速 $\geq 4\,000\text{ r/min}$ 。

18.6 氮吹仪。

18.7 秒表。

## 19 分析步骤

### 19.1 试样制备

谷物及其制品、婴幼儿谷类辅助食品采样量不低于1 kg,样品量不足1 kg;取全部试样。用高速粉碎机将其粉碎,粉碎粒度应小于1 mm。混合均匀后储存于洁净的容器内,密封后置于4 °C下避光保存。

植物油脂采样量不低于1 kg;样品量不到1 kg,取全部试样。混合均匀后储存于洁净的容器内,密封后置于4 °C下避光保存。

在制样的操作过程中,应防止样品受到污染或发生伏马菌素含量的变化。

### 19.2 试样提取

#### 19.2.1 谷物及其制品、婴幼儿谷类辅助食品

准确称取试样20 g(精确至0.01 g)于250 mL三角烧瓶中,准确加入100 mL乙腈-水(50+50)提取液,超声或振荡提取20 min,转移20 mL提取液至50 mL离心管中,在4 000 r/min下离心10 min,待净化。

#### 19.2.2 植物油脂

植物油脂提取过程同19.2.1,提取液在下层。

### 19.3 试样净化

#### 19.3.1 婴幼儿谷类辅助食品

准确移取5.0 mL提取液,加入45.0 mL吐温-20/PBS溶液进行稀释,混合均匀后在4 000 r/min下离心10 min,取全部上清液过免疫亲和柱,控制流速1 mL/min~2 mL/min,用10 mL PBS缓冲液和10 mL水依次淋洗免疫亲和柱,再用3 mL甲醇-乙酸溶液(98+2)分3次洗脱免疫亲和柱,收集洗脱液。55 °C下氮气吹干,加入1 mL乙腈-水溶液(20+80)溶解残渣,涡旋30 s,过微孔滤膜后,收集于进样瓶中,待测。

#### 19.3.2 谷物及其制品、植物油脂

准确移取0.5 mL提取液,加入4.5 mL吐温-20/PBS溶液进行稀释,混合均匀后在4 000 r/min下离心10 min,取全部上清液过免疫亲和柱,控制流速1 mL/min~2 mL/min,用10 mL PBS缓冲液和10 mL水依次淋洗免疫亲和柱,再用3 mL甲醇-乙酸溶液(98+2)分3次洗脱免疫亲和柱,收集洗脱液。55 °C下氮气吹干,加入1 mL乙腈-水溶液(20+80)溶解残渣,涡旋30 s,过微孔滤膜后,收集于进样瓶中,待测。

注:由于不同厂商提供的免疫亲和柱操作程序可能不同,实际操作时,请参照厂商提供的操作说明和程序使用。

### 19.4 衍生

取500 μL标准溶液或样品溶液于进样瓶中,加入500 μL衍生溶液,涡旋混合30 s,在2 min内进样分析。

注：可根据试验仪器条件，选用自动化衍生方式进样。

### 19.5 仪器参考条件

- 19.5.1 色谱柱： $C_{18}$ ，粒径  $5 \mu\text{m}$ ,  $4.6 \times 150 \text{ mm}$ , 或相当者。
- 19.5.2 检测波长：激发波长  $335 \text{ nm}$ ; 发射波长  $440 \text{ nm}$ 。
- 19.5.3 流动相：A, 甲酸铵-甲酸水溶液；B, 甲醇。梯度洗脱，洗脱程序见表 5。
- 19.5.4 流速： $1.0 \text{ mL/min}$ 。
- 19.5.5 柱温： $40^\circ\text{C}$ 。
- 19.5.6 进样量： $50 \mu\text{L}$ 。

表 5 流动相洗脱程序

时间 min	流动相 A %	流动相 B %
0.00	30.0	70.0
5.00	28.0	72.0
6.00	25.0	75.0
11.00	22.0	78.0
11.10	30.0	70.0
16.00	30.0	70.0

### 19.6 标准曲线的制作

将混合标准系列工作溶液衍生后从低浓度到高浓度分别注入高效液相色谱仪中，测定相应的峰面积。以标准溶液浓度为横坐标，以峰面积为纵坐标，绘制标准曲线。伏马菌素标准溶液的柱前衍生-高效液相色谱图参见附录 C。

### 19.7 试样溶液的测定

将待测溶液衍生后进样，得到对应的峰面积，根据标准曲线计算待测溶液中  $\text{FB}_1$ 、 $\text{FB}_2$ 、 $\text{FB}_3$  的浓度。

### 19.8 空白试验

不称取试样，按 19.2、19.3 和 19.4 的步骤做空白试验。

## 20 分析结果的表述

待测样品中  $\text{FB}_1$ 、 $\text{FB}_2$ 、 $\text{FB}_3$  的含量按式(3)计算。

$$X = \frac{(\rho - \rho_0) \times V_1 \times V_2 \times 1000}{m \times V_3 \times 1000} \quad \dots \dots \dots \quad (3)$$

式中：

$X$  ——待测样品中  $\text{FB}_1$ 、 $\text{FB}_2$ 、 $\text{FB}_3$  的含量，单位为微克每千克( $\mu\text{g/kg}$ )；

$\rho$  ——待测溶液中  $\text{FB}_1$ 、 $\text{FB}_2$ 、 $\text{FB}_3$  的浓度，单位为纳克每毫升( $\text{ng/mL}$ )；

$\rho_0$  ——空白试验测得  $\text{FB}_1$ 、 $\text{FB}_2$ 、 $\text{FB}_3$  的浓度，单位为纳克每毫升( $\text{ng/mL}$ )；

$V_1$  ——提取溶液的体积，单位为毫升(mL)；

$V_2$  ——进样溶液的定容体积,单位为毫升(mL);

1 000——换算系数;

$m$  ——样品的称样量,单位为克(g);

$V_3$  ——用于净化的提取溶液体积,单位为毫升(mL)。

测定结果用平行测定的算术平均值表示,保留 3 位有效数字。

## 21 精密度

在重复性条件下获得的 2 次独立测定结果的绝对差值不得超过算术平均值的 20%。

## 22 其他

谷物及其制品、植物油脂,当称样量为 20.0 g 时,FB<sub>1</sub>、FB<sub>2</sub> 和 FB<sub>3</sub> 的检出限分别为 60.0  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 、30.0  $\mu\text{g}/\text{kg}$  和 30.0  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ,定量限分别为 200  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 、100  $\mu\text{g}/\text{kg}$  和 100  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。

婴幼儿谷类辅助食品,当称样量为 20.0 g 时,FB<sub>1</sub>、FB<sub>2</sub> 和 FB<sub>3</sub> 的检出限分别为 6.00  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 、3.00  $\mu\text{g}/\text{kg}$  和 3.00  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ,定量限分别为 20.0  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 、10.0  $\mu\text{g}/\text{kg}$  和 10.0  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。

附录 A  
柱后衍生-高效液相色谱图

柱后衍生-高效液相色谱图见图 A.1。

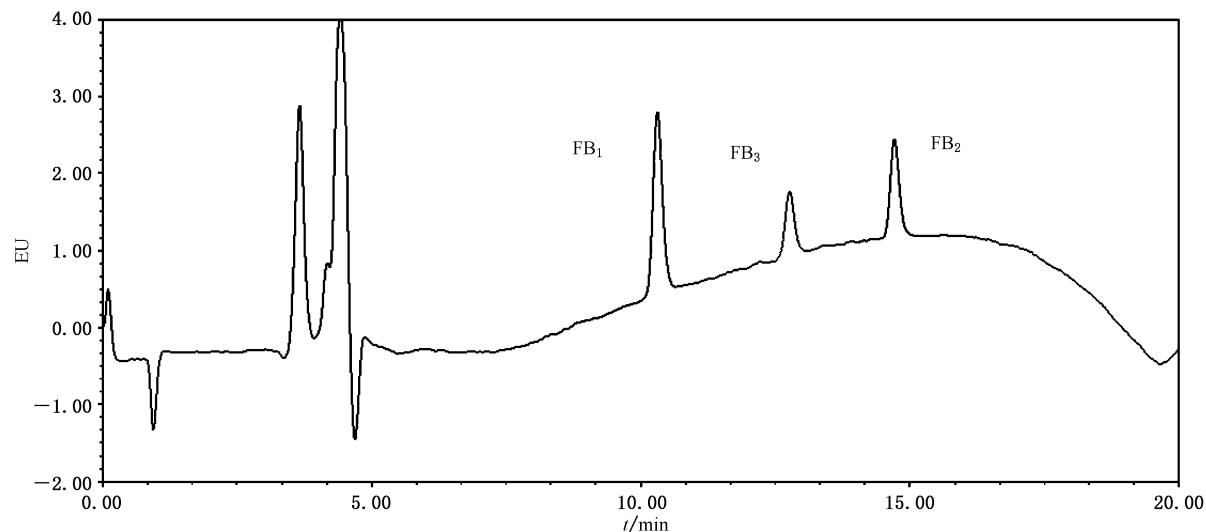


图 A.1 柱后衍生-高效液相色谱图(FB<sub>1</sub>、FB<sub>2</sub>、FB<sub>3</sub> 质量浓度分别为 100 ng/mL、50 ng/mL、50 ng/mL)

**附录 B**  
**MRM 质谱色谱图**

伏马菌素标准溶液及对应的同位素内标溶液 MRM 色谱图见图 B.1 和图 B.2。

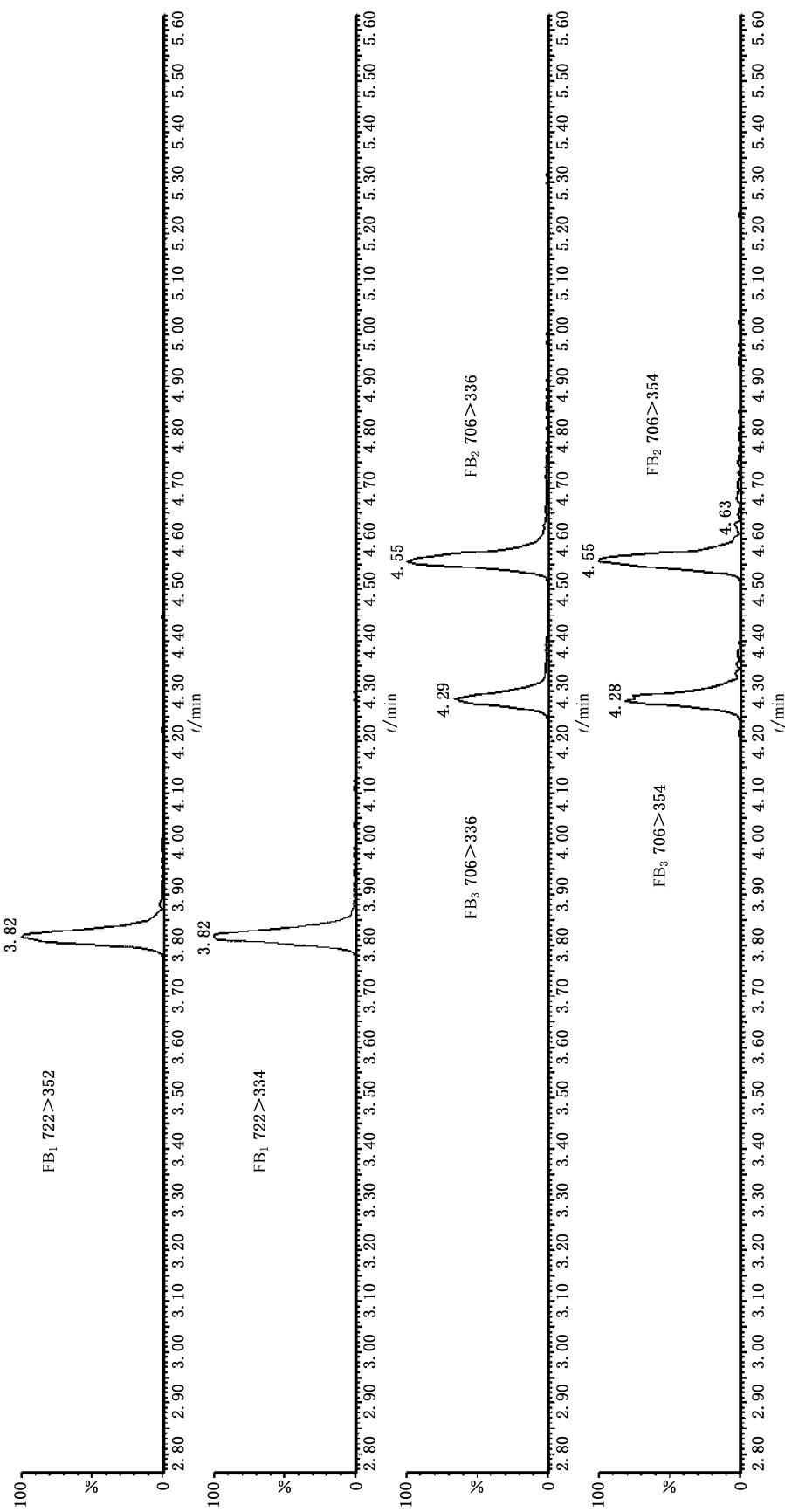


图 B.1 伏马菌素标准溶液 MRM 色谱图 (FB<sub>1</sub>、FB<sub>2</sub>、FB<sub>3</sub> 质量浓度分别为 100 ng/mL、50 ng/mL、50 ng/mL)

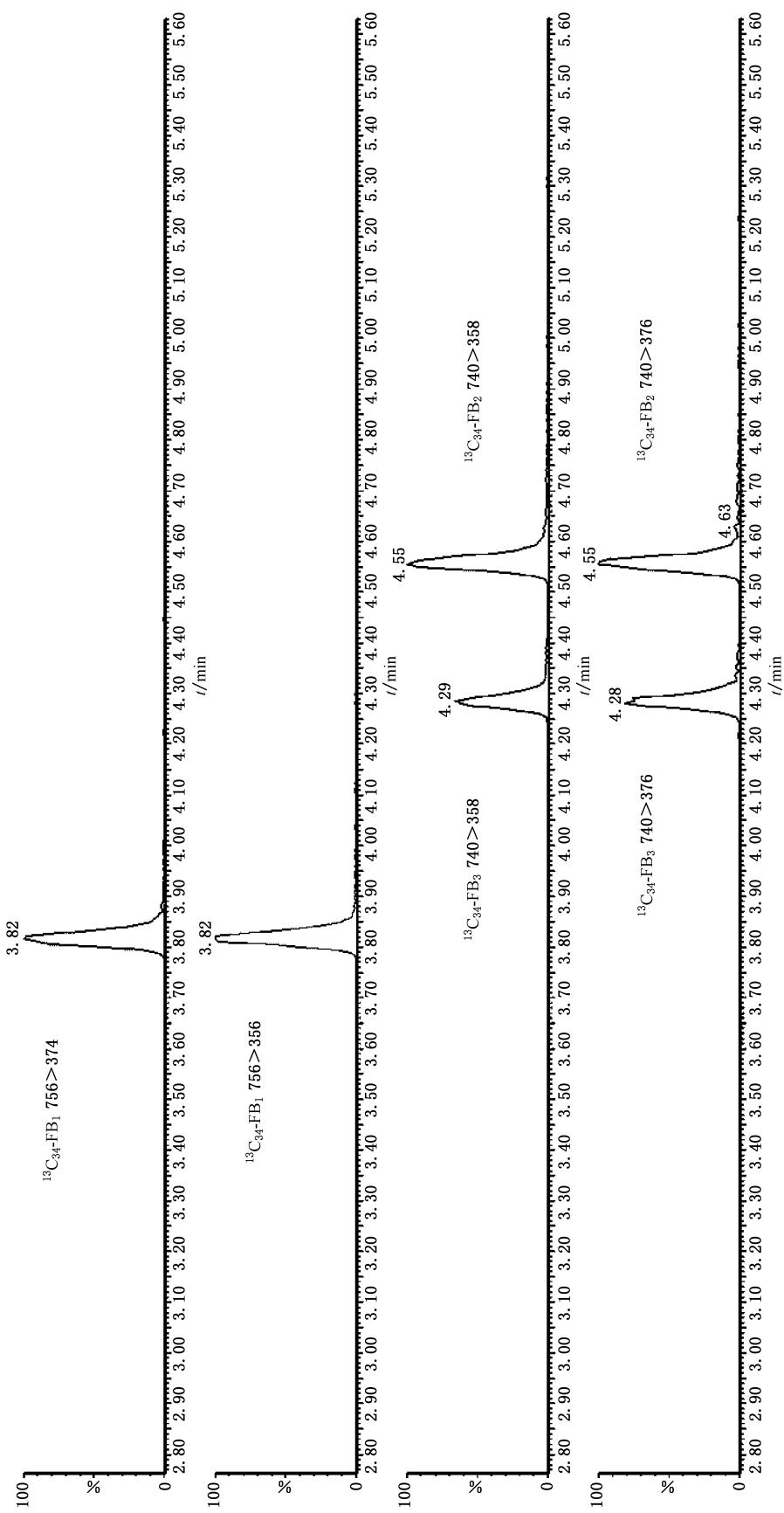


图 B.2 伏马菌素对应的同位素内标 MRM 色谱图 (<sup>13</sup>C<sub>34</sub>-FB<sub>1</sub>、<sup>13</sup>C<sub>34</sub>-FB<sub>2</sub>、<sup>13</sup>C<sub>34</sub>-FB<sub>3</sub> 质量浓度分别为 50 ng/mL、20 ng/mL、20 ng/mL)

附录 C  
柱前衍生-高效液相色谱图

柱前衍生-高效液相色谱图见图 C.1。

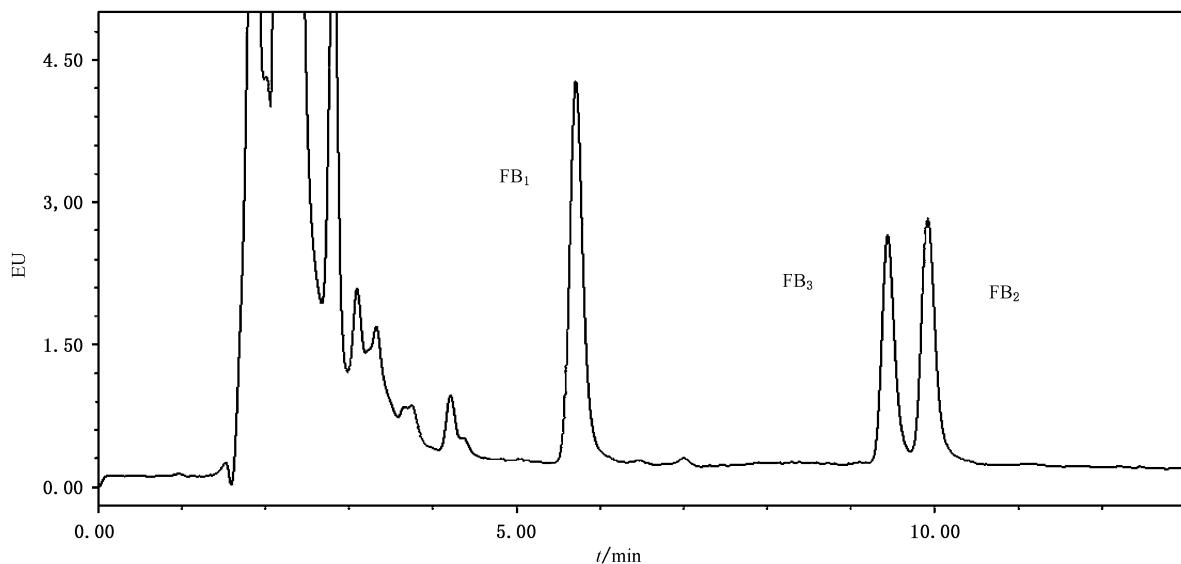


图 C.1 柱前衍生-高效液相色谱图(FB<sub>1</sub>、FB<sub>2</sub>、FB<sub>3</sub> 质量浓度均为 100 ng/mL、50 ng/mL、50 ng/mL)

**附录 D**  
**柱容量及柱回收率验证方法**

**D.1 柱容量验证方法**

准确移取  $FB_1$  标准储备溶液( $100 \mu\text{g}/\text{mL}$ ) $250 \mu\text{L}$  至  $50 \text{ mL}$  容量瓶中,用吐温-20/PBS 溶液(0.1%)定容至刻度,充分混匀。分别取同一批次 3 根免疫亲和柱,每根柱的上样量为  $10 \text{ mL}$ ( $5 \mu\text{g} FB_1$ )。经上样、淋洗、洗脱,收集洗脱液,用氮气吹至约  $1 \text{ mL}$ ,用乙腈-水溶液(20+80)定容至  $10 \text{ mL}$ ,用液相色谱仪分离测定  $FB_1$  的含量。

结果判定: $FB_1 \geq 4.5 \mu\text{g}$ ,为柱容量满意。

**D.2 柱回收率验证方法**

准确移取  $FB_1$ 、 $FB_2$  及  $FB_3$  标准储备溶液( $100 \mu\text{g}/\text{mL}$ )各  $50 \mu\text{L}$  至  $50 \text{ mL}$  容量瓶中,用吐温-20/PBS 溶液(0.1%)定容至刻度,充分混匀。分别取同一批次 3 根免疫亲和柱,每根柱的上样量为  $10 \text{ mL}$ ( $FB_1$ 、 $FB_2$  及  $FB_3$  各  $1 \mu\text{g}$ )。经上样、淋洗、洗脱,收集洗脱液,用氮气吹至约  $1 \text{ mL}$ ,用乙腈-水溶液(20+80)定容至  $10 \text{ mL}$ ,用液相色谱仪分离测定  $FB_1$ 、 $FB_2$  及  $FB_3$  的含量。

结果判定: $FB_1 \geq 0.9 \mu\text{g}$ , $FB_2 \geq 0.9 \mu\text{g}$ , $FB_3 \geq 0.9 \mu\text{g}$ ,则  $FB_1$ 、 $FB_2$  及  $FB_3$  回收率 $\geq 90\%$ ,为柱回收率满意。

---