

## 开发一种分析谷物产品中50种真菌毒素和托烷生物碱的多毒素UPLC-MS/MS方法

---

Nicola Dreolin, Henry Foddy, Simon Hird, Peter Hancock, Timothy Jenkins

Waters Corporation

---

### 摘要

本应用纪要介绍了一种多毒素UPLC-MS/MS方法分析谷物产品中50种受管制和新型真菌毒素、阿托品以及东莨菪碱的性能。将Xevo TQ-XS高灵敏度串联四极杆质谱仪与ACQUITY UPLC系统联用，达到了非常低的检测限和定量限。使用简单的“稀释-上样”方案提取混合谷物粉，无需任何净化步骤或内标。使用溶剂标准品和加标提取物（基质匹配校准标样）绘制校准曲线。该方法的检测限和定量限显示，其适用于检查产品是否符合法规限值和调查其他毒素水平。该方法的最低定量限(m-LOQ)是黄曲霉毒素定量限(0.1 µg/kg)。大多数分析物的校准范围均可接受，且覆盖三个数量级。本研究还计算了所有化合物的基质效应，结果显示基质效应较为显著，这说明有必要使用基质匹配标样绘制校准曲线。该方法符合SANTE真菌毒素分析指南中的标准。所得数据导入新版waters\_connect定量软件，使用MS Quan应用程序进行处理，提高了数据处理和审查效率。

### 优势

- 使用一种LC-MS/MS方法即可同时测定超过50种真菌毒素和植物毒素
  - 使用高灵敏度Xevo TQ-XS刷新了检测下限纪录
  - 展现出出色的灵敏度和良好的线性及重复性，法规要求得以满足
  - MS Quan应用程序与新版waters\_connect定量软件减少了处理数据和查看结果耗费的时间
-

---

## 简介

真菌毒素是由多种霉菌天然生成的次生代谢物。这些化合物对人类和动物具有毒性。真菌毒素一般由真菌直接产生，它们的母体结构通常会经真菌本身修饰，释放出许多结构相关化合物的混合物。在感染期间，真菌的宿主植物往往会进一步修饰这些物质。活体植物可能改变毒素的化学结构，产生所谓的“隐蔽型真菌毒素”(masked mycotoxins)。形成隐蔽型毒素是作物的主要解毒策略，因为隐蔽型毒素对植物的毒性较小。为确保食品和饲料安全，许多国家/地区都针对作物中的真菌毒素制定了监管限值。这些法规只涉及一些已知的真菌毒素，如黄曲霉毒素B<sub>1</sub>、B<sub>2</sub>、G<sub>1</sub>、G<sub>2</sub>和M<sub>1</sub>；伏马菌素B<sub>1</sub>、B<sub>2</sub>和B<sub>3</sub>；赭曲霉毒素A、脱氧雪腐镰刀菌烯醇、玉米赤霉烯酮、HT-2毒素、T-2毒素、托烷生物碱和麦角生物碱<sup>1</sup>。

当前的研究正源源不断地提出有关新型真菌毒素代谢物的各种见解，为适应气候变化而开展的植物育种工作亦是如此。目前人们正在开展风险评估研究，为必要情况下的立法做准备。这些化合物常被称为“新型真菌毒素”<sup>2</sup>。

“隐蔽型真菌毒素”最初用于指代真菌毒素代谢物的共轭物，不过现在该类型物质已经被更准确地称为“修饰型真菌毒素”，并且包括母体真菌毒素的所有代谢物<sup>3</sup>。如今出现新型和修饰型真菌毒素的证据正在迅速增多，这表明此类毒素可能会高频率地（有时甚至还会高浓度地）出现在谷物和其他食品及饲料中<sup>4</sup>。

其中一些新型和修饰型真菌毒素以及植物毒素已经受到法规监管，未来某个阶段可能还会有更进一步的监管行动。过去十年来，这三种毒素的检测需求大幅增加，其中一部分需求来源于食品/饲料行业的尽职调查，还有一部分是为了回应人们对发生率数据的呼吁。因此，有必要扩大分析的应用范围，纳入这些化合物。本研究扩展了之前一篇应用纪要<sup>5</sup>的应用范围并探讨了方法扩展后的性能，从而开发出一种使用高灵敏度Xevo TQ-XS分析谷物食品中多种毒素的定量检测方法。

---

## 实验

### 样品提取

采用基于先前研究的提取程序<sup>5,6</sup>提取小麦粉、大麦粉、大米粉和玉米粉的混合物。简而言之，将5.0 g均质样品置于50 mL塑料离心管中，然后用20 mL含0.75%乙酸和0.2%甲酸(v/v)的80:20乙腈:水在自动涡旋混合器上提取10 min。在>5000 g的条件下离心6 min后，将150 μL上清液转移到LC样品瓶中，在LC-MS/MS分析之前加入1350 μL水(1:10稀释)并(用玻璃纤维针式过滤器)过滤。总稀释倍数为40。

## 校准标样的制备

制备两个校准品系列：

1. 使用水:乙腈95:5 (v/v)连续稀释混合储备液，制得溶剂标准品。
2. 使用空白样品提取物连续稀释混合储备液，制得相同浓度范围的基质匹配标准品。

## 液相色谱条件

色谱系统：	ACQUITY UPLC I-Class PLUS（配备二元溶剂管理器）
自动进样器：	配备15 $\mu$ L进样针的流通针式进样器(FTN)
色谱柱：	ACQUITY UPLC BEH C <sub>18</sub> （2.1 $\times$ 100 mm，粒径1.7 $\mu$ m，孔径130 Å，部件号：186002352）
水性流动相：	1 mM乙酸铵水溶液，含0.5%乙酸和0.1%甲酸(v/v)
有机流动相：	甲醇+ 0.5%乙酸+ 0.1%甲酸(v/v)
洗针液：	水:甲醇:乙腈:异丙醇:丙酮(20:20:20:20:20)+1%甲酸（体积比）
密封清洗溶剂：	水:乙腈(80:20, v/v)
柱温：	40 °C
样品温度：	15 °C
进样体积：	5 $\mu$ L
流速：	0.40 mL/min

时间(min)	%有机相	%水相	曲线
0.0	5	95	-
0.7	5	95	6
6.5	50	50	6
9.5	100	0	6
12.5	100	0	6
12.6	5	95	6
14.0	5	95	6

表1.UPLC梯度

## 质谱条件

质谱系统:	Xevo TQ-XS
电离模式:	ESI+/- (极性切换)
采集模式:	多反应监测(MRM)
毛细管电压:	+0.75/-0.30 kV
电离源补偿:	30 V
锥孔气流速:	200 L/h
脱溶剂气温度:	600 °C

脱溶剂气流速:	1100 L/h
离子源温度:	150 °C
数据采集软件:	MassLynx 4.2版
数据处理软件:	waters_connect定量软件 (MS Quan应用程序)

优化后的MRM通道、锥孔电压和碰撞能量见附录。

---

## 结果与讨论

### 色谱分析

除串珠镰孢霉素（保留时间0.71 min）外，所有化合物都有两个MRM通道，且保留时间都在色谱柱死体积所对应保留时间（ $V_d$ 约为0.55 min）的两倍以上，符合SANTE指南要求<sup>7</sup>。串珠镰孢霉素与其他真菌毒素差别很大，由于它是一种强极性的酸性小分子，使用亲水作用色谱(HILIC)来测定它才是确认分析的更优选择。所有分析物的保留时间都很稳定，每个序列内的保留时间变化不超过±0.03 min。

使用之前开发的UPLC方法，几乎所有目标化合物都实现了良好的色谱分离。得益于此，我们在优化MRM采集窗口时得以尽可能减少功能通道重叠，从而尽可能延长驻留时间。良好的色谱峰分离度与Xevo TQ-XS的高灵敏度相结合，使得同一MS方法成功涵盖了50种目标化合物。加标目标化合物的谷物提取物的两幅代表性色谱图如图1所示。

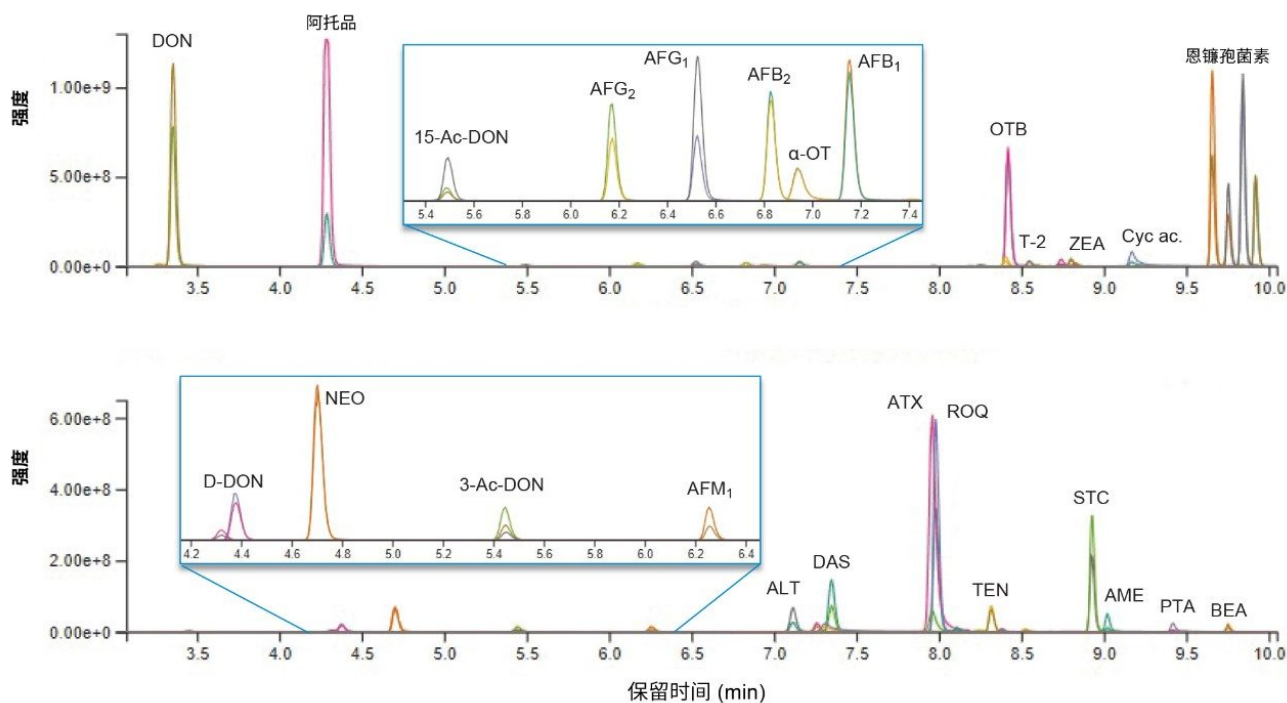


图1.两个不同的加标谷物样品中，各种目标真菌毒素和植物毒素的色谱图。每个峰都根据一条定量离子迹线和一条定性离子迹线进行表征。

## 灵敏度和定量分析

对应于检测限和定量限的色谱峰分别具有 $>3$ 和 $>10$ 的信噪比（噪音范围设置：峰到峰，无额外处理）。

分析溶剂标准品时，达到了相当低的仪器检测限(i-LOD)。例如，黄曲霉毒素B<sub>1</sub>、B<sub>2</sub>、G<sub>1</sub>、G<sub>2</sub>和M<sub>1</sub>的i-LOD为0.0003 ng/mL。方法定量限(m-LOQ)指 $S/N > 10$ 且符合校准可接受标准 ( $R^2 \geq 0.99$ 且残差 $\leq 20\%$ )的最低基质匹配标准品浓度，黄曲霉毒素的定量限低至0.1  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ；赭曲霉毒素、杂色曲霉毒素、白僵菌素、恩镰孢菌素、阿托品、东莨菪碱和异烟棒曲霉毒素C的定量限 $\leq 1 \mu\text{g}/\text{kg}$ ；其余化合物的m-LOQ $\leq 10 \mu\text{g}/\text{kg}$ （雪腐镰刀菌烯醇、玉米赤霉烯酮和青霉震颤素A除外）。表2列出了该方法分析所有50种化合物的灵敏度和定量特征。



分析物	RT (min)	i-LOD (ng/mL)	m-LOQ (µg/kg)	校准范围 range (µg/kg)	R <sup>2</sup>	残差 (%)	ME (%)	SE/SS	加标浓度 (µg/kg)	RSD <sub>r</sub> (%)
串珠镰刀菌素	0.71	0.03	10	10-2000	0.9988	0.2-16.2	-19	0.81	60	10
棒曲霉素	1.97	0.2	5.0	5.0-8000	0.9997	0.1-6.6	5	1.05	60	6
雪腐镰刀菌烯醇	2.40	0.4	100	100-40000	0.9946	4.1-19.3	-6	0.94	600	2
脱氧雪腐镰刀菌烯醇	3.27	0.008	3.0	3.0-4800	0.9997	0.6-12.4	-11	0.89	36	10
东莨菪碱	3.36	0.006	1.0	1.0-32 00	0.9999	0.1-9.6	6	1.06	48	2
脱氧雪腐镰刀菌烯醇-3-葡萄糖苷	3.45	0.02	3.0	3.0-4800	0.9998	0.2-19.9	-15	0.85	36	5
阿托品	4.29	0.006	1.0	1.0-1600	0.9994	0.1-9.3	42	1.42	48	1
镰刀菌酮-X	4.32	0.02	3.0	3.0-4800	0.9998	0.2-10.9	-31	0.69	36	9
脱环氧-脱氧雪腐镰刀菌烯醇	4.38	0.008	3.0	3.0-2400	0.9992	0.3-18.7	-32	0.68	36	3
新茄孢菌醇	4.70	0.008	1.0	1.0-2400	0.9999	0.2-14.8	-6	0.94	36	9
3-乙酰基-脱氧雪腐镰刀菌烯醇	5.45	0.02	6.0	6.0-4800	0.9994	0.5-11.3	-14	0.86	36	6
15-乙酰基-脱氧雪腐镰刀菌烯醇	5.49	0.02	6.0	6.0-4800	0.9993	0.1-15.3	-17	0.83	36	4
黄曲霉毒素G <sub>2</sub>	6.17	0.0003	0.1	0.1-200	0.9999	0.0-11.7	-8	0.92	1.5	2
黄曲霉毒素M <sub>1</sub>	6.26	0.0003	0.1	0.1-200	0.9997	0.1-18.7	9	1.09	1.5	6
黄曲霉毒素G <sub>1</sub>	6.53	0.0003	0.1	0.1-200	0.9999	0.0-7.0	-7	0.93	1.5	9
黄曲霉毒素B <sub>2</sub>	6.82	0.0003	0.1	0.1-200	0.9991	0.9-16.3	-52	0.48	1.5	3
α-赭曲霉毒素	6.94	0.006	0.75	0.75-1200	0.9999	0.0-6.3	12	1.12	9.0	4
交链孢烯	7.12	0.02	3.0	3.0-4800	0.9980	1.0-18.5	5	1.05	36	4
黄曲霉毒素B <sub>1</sub>	7.15	0.0003	0.1	0.1-200	0.9999	0.1-13.6	-9	0.91	1.5	7
胶霉毒素	7.27	0.05	6.0	6.0-4800	0.9999	0.2-7.0	-22	0.78	36	3
细交链孢菌酮酸	7.31	0.05	6.0	6.0-4800	0.9994	0.2-13.0	-31	0.69	36	5
蛇形菌素	7.35	0.008	3.0	3.0-2400	0.9937	1.1-17.4	8	1.08	36	9
链格孢毒素I	7.97	0.02	3.0	3.0-2400	0.9998	0.0-11.5	-12	0.88	18	6
异烟唑曲霉毒素C	7.98	0.006	1.0	1.0-4800	0.9997	0.4-16.4	-35	0.65	36	3
交链孢酚	8.11	0.02	6.0	6.0-4800	0.9990	0.2-16.1	-20	0.80	36	9
HT-2毒素	8.20	0.05	3.0	3.0-2400	0.9992	0.2-17.0	5	1.05	18	1
伏马菌素B <sub>1</sub>	8.24	0.019	2.5	2.5-4000	0.9993	0.5-20.0	24	1.24	30	2
β-玉米赤霉醇	8.24	0.03	4.0	4.0-2400	0.9994	0.1-14.0	-38	0.62	12	5
腓毒素	8.32	0.008	1.0	1.0-4800	0.9992	0.0-17.2	-5	0.95	36	8
α和β-玉米赤霉醇	8.39	0.2	6.0	6.0-1600	0.9991	1.4-9.6	-83	0.17	12	8
赭曲霉毒素B	8.41	0.003	0.5	0.5-1200	0.9990	0.3-18.5	23	1.23	9.0	2
霉酚酸	8.42	0.01	2.0	2.0-8000	0.9992	0.9-6.3	8	1.08	60	5
伏马菌素B <sub>3</sub>	8.53	0.019	2.5	2.5-4000	0.9992	0.9-6.3	39	1.39	30	3
T-2毒素	8.55	0.01	1.5	1.5-2400	0.9998	0.3-10.2	-11	0.89	18	5
α-玉米赤霉醇	8.58	0.05	6.0	6.0-2400	0.9999	0.1-7.6	-53	0.47	18	3
伏马菌素B <sub>2</sub>	8.72	0.019	2.5	2.5-4000	0.9988	1.2-14.7	20	1.20	30	1
玉米赤霉烯酮	8.74	0.05	18	18-2400	0.9994	0.1-15.5	-34	0.66	18	8
玉米赤霉烯酮	8.81	0.02	5.0	5.0-12000	1.0000	0.3-3.6	-13	0.87	90	6
赭曲霉毒素A	8.83	0.004	0.5	0.5-800	0.9999	0.3-7.6	43	1.43	6.0	1
杂色曲霉毒素	8.93	0.004	0.5	0.5-2400	0.9981	1.9-18.0	-13	0.87	18	4
交链孢酚单甲醚	9.02	0.02	1.0	1.0-4800	0.9998	0.3-9.5	-20	0.80	36	2
环匹阿尼酸	9.17	0.03	10	10-8000	0.9983	1.0-19.5	-56	0.44	60	4
青霉震颤素A#	9.42	0.02	60	60-4000	0.9962	>20	-100	0.005	60	9
恩镰孢菌素B	9.66	0.003	1.0	1.0-4800	0.9988	0.1-13.8	-25	0.75	36	2
黑麦酮酸D#	9.70	0.006	9.0	9.0-300	0.9921	>20	-85	0.15	300	4
白僵菌素	9.75	0.05	1.0	1.0-2400	0.9995	0.8-16.5	83	1.83	36	3
恩镰孢菌素B <sub>1</sub>	9.76	0.003	1.0	1.0-4800	0.9999	0.0-6.9	18	1.18	36	3
恩镰孢菌素A <sub>1</sub>	9.84	0.003	1.0	1.0-2400	0.9998	0.1-5.1	47	1.47	36	3
恩镰孢菌素A	9.91	0.003	1.0	1.0-4800	0.9987	0.2-10.5	41	1.41	36	2

#仅半定量。

表2.评估该LC-MS/MS方法性能的参数概览。RT=保留时间；i-LOD=仪器检测限；m-LOQ=方法定量限；R<sub>2</sub>=决定

系数；ME=基质效应；SE/SS=信号增强或信号抑制因子；加标浓度=为确定重复性而加标到样品中的浓度；RSDr=重复性条件下的相对标准偏差百分比。

大多数分析物的校准曲线覆盖三个数量级。溶剂校准曲线和基质匹配校准曲线的决定系数( $R^2$ )几乎都 $> 0.99$ ，且校准范围仅使用残差百分比低于20%的标准品确定。校准特征的详细信息见表2。

图2显示了以m-LOQ水平加标黄曲霉毒素B1和赭曲霉毒素A的混合谷物提取物的色谱图。图3显示了相应的基质匹配校准曲线。

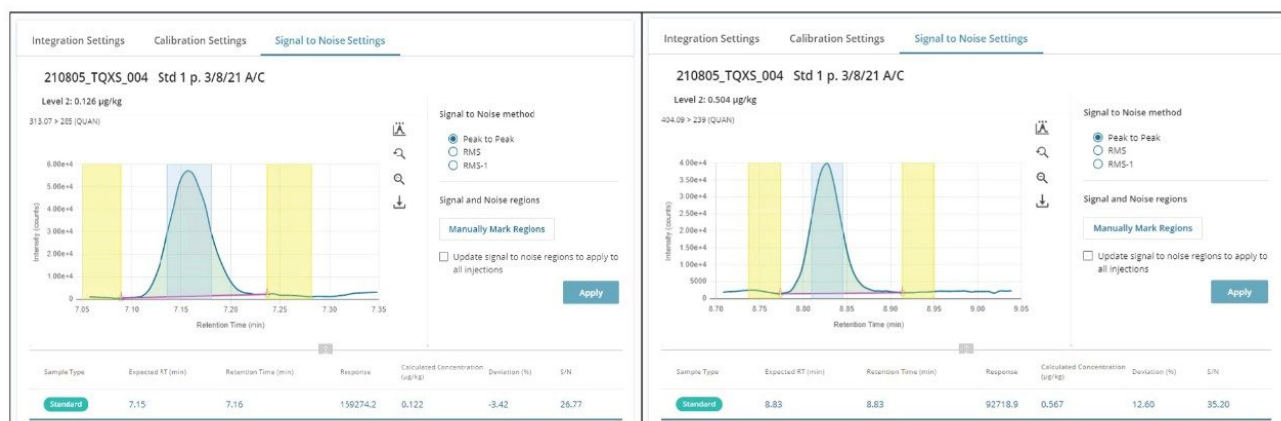
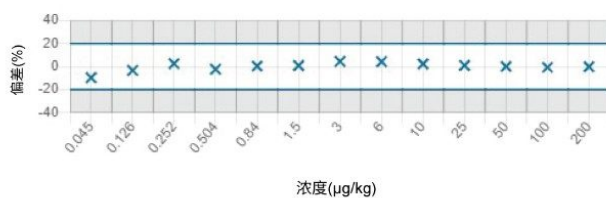
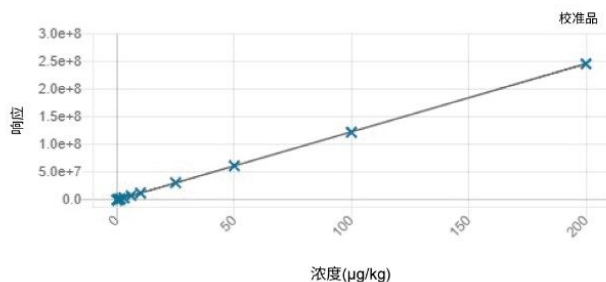


图2.分析基质匹配标准品得到的色谱图，图中显示混合谷物提取物中含有黄曲霉毒素B1 ( $0.1 \mu\text{g}/\text{kg}$ )和赭曲霉毒素A ( $0.5 \mu\text{g}/\text{kg}$ )。软件算法自动识别出了信号区域（绿色）和噪音区域（黄色）用于计算信噪比。



黄曲霉毒素B1 (AFB1)

R<sup>2</sup>=0.9999

赭曲霉毒素A (OTA)

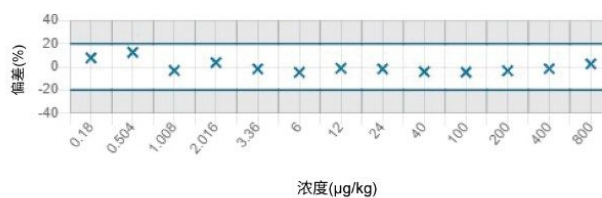
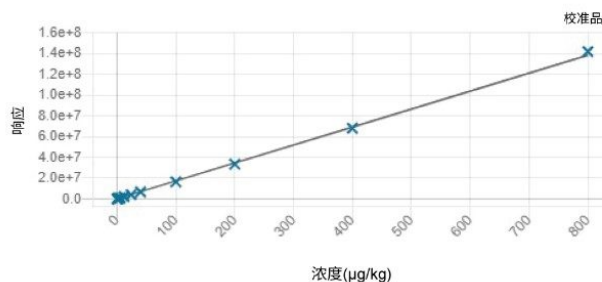
R<sup>2</sup>=0.9993

图3.黄曲霉毒素B1和赭曲霉毒素A的基质匹配校准曲线以及残差图。

## 基质效应

按下式计算各分析物的基质效应(%ME):

$$\%ME = \left( \frac{b_M}{b_S} - 1 \right) * 100$$

其中 $b_M$ 和 $b_S$ 分别是基质匹配校准曲线和溶剂校准曲线的斜率。

信号增强/抑制因子(SE/SS)通过计算 $b_M/b_S$ 的比值得到。

基质效应在-100% ~ +83%范围内。信号增强因子介于1.05到1.83之间，信号抑制因子介于0.95到0.005之间。

观察到的基质效应呈现跨数量级的显著变化，由此可确认，使用基质匹配校准曲线对于补偿基质效应和实现可靠定量至关重要。使用<sup>13</sup>C标记的内标亦可<sup>5,6</sup>。

基质效应通常是由基质中的共提取物产生的。对于复杂的食品基质，建议采用有效方法净化样品或大幅稀释提取物，以便提高方法稳定性，尽可能减少因仪器维护而导致的仪器停机时间，同时延长色谱柱使用寿命。我们在之

前的研究中（部件号：[720007377ZH](#)）提出了一套有效的SPE净化方案<sup>8</sup>。

## 重复性和鉴定标准

为评估该LC-MS/MS方法的重复性，从小麦、大麦、大米和玉米粉混合而成的样品中取6个试样，加入浓度相当于校准标样#5（见表2）的目标真菌毒素和植物毒素，然后分别提取和分析每个试样。所有分析物的相对标准偏差值（%RSD<sub>r</sub>）≤10%。每次分析中，加标试样中所有化合物的离子丰度比和保留时间都与SANTE指南中规定的标准一致<sup>7</sup>。

---

## 结论

该UPLC-MS/MS方法适用于定量检测受管制真菌毒素、受管制托烷生物碱，以及一系列新型和隐蔽型真菌毒素。如果条件允许，建议使用<sup>13</sup>C标记的内标作为基质匹配校准的替代方法。

得益于Xevo TQ-XS出色的灵敏度，用户可在大幅稀释样品提取物的同时仍达到相当低的定量限。这反过来又减少了对复杂样品制备的需求，并且如本文所述，可以使用简单快速的“稀释-上样”法。尽管如此，净化样品（例如使用Oasis PRiME HLB SPE小柱的直通式SPE净化）仍然是在进样前减少基质共提取物含量的一种选择，有助于提高方法和仪器的稳定性。

有效的UPLC分离与串联四极杆质谱仪的高灵敏度和高选择性相结合，为进一步扩展该方法提供了机会，可以在将来需要时纳入更多的目标分析物。

最后，使用waters\_connect作为定量软件尽可能提升了数据处理效率，而且有助于更快地查看和报告定量结果。

---

## 参考资料

1. Eskola, *et al.* Worldwide Contamination of Food-Crops With Mycotoxins: Validity of the Widely Cited ‘FAO Estimate’ of 25%. *Crit. Rev. Food.Sci.Nutr.* 60(16):2773–2789. 2020.
2. Gruber-Dorninger *et al.* Emerging Mycotoxins: Beyond Traditionally Determined Food Contaminants. *J. Agric.Food Chem.* 65(33):7052–7070.2017.

3. Freire and Sant' Ana. Modified Mycotoxins: An Updated Review on Their Formation, Detection, Occurrence, and Toxic Effects. *Food Chem. Toxicol.* 111:189–205. 2018.
4. de Nijs *et al.* Short Inventory of EU Legislation on Plant Toxins in Food. *World Mycotoxin J.* 9: 129–139. 2017.
5. Nicola Dreolin, Sara Stead. 在Xevo TQ-XS上使用简化的样品制备条件对LC-MS/MS法定量测定谷物粉中的管制真菌毒素进行方法开发与验证. 沃特世应用纪要 [720006685ZH](#), 2021年修订.
6. Nicola Dreolin, Janitha De-Alwis, Dimple D. Shah, Joanne Williams, Sarah Dowd, Nicole Baumgarten, Stuart Adams, Simon Hird. 利用实验室间研究对一种通过LC-MS/MS测定谷物中管制真菌毒素的简单方法进行性能评价. 沃特世应用纪要, [720007165ZH](#), 2021.
7. SANTE 12089/2016. Guidance Document on Identification of Mycotoxins in Food and Feed.
8. Nicola Dreolin, Sara Stead, Simon Hird, Timothy Jenkins. 使用直通式SPE和UPLC-MS/MS测定谷物、坚果、无花果和动物饲料中的管制真菌毒素及新型真菌毒素. 沃特世应用纪要, [720007377ZH](#), 2021.

# 附录

分析物	加合物	母离子 m/z	子离子 m/z	CV (V)	CE (eV)
黄曲霉毒素B <sub>1</sub>	[M+H] <sup>+</sup>	313.0	285.0	30	20
			241.0		37
黄曲霉毒素B <sub>2</sub>	[M+H] <sup>+</sup>	315.1	287.0	30	25
			259.0		28
黄曲霉毒素G <sub>1</sub>	[M+H] <sup>+</sup>	329.1	243.0	25	24
			311.0		20
黄曲霉毒素G <sub>2</sub>	[M+H] <sup>+</sup>	331.1	313.2	25	25
			245.1		30
伏马菌素B <sub>1</sub>	[M+H] <sup>+</sup>	722.3	334.3	30	40
			352.3		35
伏马菌素B <sub>2</sub>	[M+H] <sup>+</sup>	706.4	336.4	30	36
			318.4		37
伏马菌素B <sub>3</sub>	[M+H] <sup>+</sup>	706.4	336.4	10	40
			94.8		60
赭曲霉毒素A	[M+H] <sup>+</sup>	404.1	239.0	20	25
			221.0		36
玉米赤霉烯酮	[M+H] <sup>+</sup>	319.2	185.1	20	25
			187.1		19
拟氧甾烯镰刀菌烯醇	[M+H] <sup>+</sup>	297.1	249.1	15	10
			231.1		10
拟氧甾烯镰刀菌烯醇-3-葡萄糖苷	[M-Glu+H] <sup>+</sup>	297.2	249.1	20	12
			231.1		12
雪腐镰刀菌烯醇	[M+CH <sub>3</sub> COO] <sup>-</sup>	371.1	281.0	10	10
			311.0		10
HT-2毒素	[M+NH <sub>4</sub> ] <sup>+</sup>	442.3	263.1	20	10
			215.1		10
T-2毒素	[M+NH <sub>4</sub> ] <sup>+</sup>	484.2	185.1	20	15
			215.1		22
3-乙酰基-拟氧甾烯镰刀菌烯醇	[M+H] <sup>+</sup>	339.2	231.1	10	13
			203.1		12
16-乙酰基-拟氧甾烯镰刀菌烯醇	[M+H] <sup>+</sup>	339.2	137.1	10	18
			231.1		8
肥形菌素	[M+NH <sub>4</sub> ] <sup>+</sup>	384.2	307.2	7	10
			247.0		13
新茄镰孢菌醇	[M+NH <sub>4</sub> ] <sup>+</sup>	400.2	305.1	10	12
			184.9		20
镰刀菌醇-X	[M+H] <sup>+</sup>	355.2	247.0	10	15
			229.0		17
拟环状-拟氧甾烯镰刀菌烯醇	[M+H] <sup>+</sup>	281.0	233.0	10	16
			215.1		10
桔霉素	[M+H] <sup>+</sup>	251.0	233.0	16	17
			205.0		25
伊色曲霉素	[M+H] <sup>+</sup>	325.0	310.0	10	25
			281.0		37
白僵菌素	[M+H] <sup>+</sup>	784.5	133.9	80	27
			262.2		25
恩糖孢素A	[M+NH <sub>4</sub> ] <sup>+</sup>	699.5	210.0	10	32
			100.0		70
恩糖孢素B	[M+NH <sub>4</sub> ] <sup>+</sup>	657.5	196.0	50	30
			214.0		30
恩糖孢素A <sub>1</sub>	[M+NH <sub>4</sub> ] <sup>+</sup>	685.5	210.0	10	35
			100.1		35
恩糖孢素B <sub>1</sub>	[M+NH <sub>4</sub> ] <sup>+</sup>	671.5	196.0	10	37
			210.0		35
交链孢酚	[M+H] <sup>+</sup>	259.0	185.0	10	28
			213.0		28
交链孢酚单甲醚	[M+H] <sup>+</sup>	271.0	256.0	20	22
			228.0		30
棒曲素	[M+H] <sup>+</sup>	415.3	57.5	10	30
			312.1		20
链交链孢菌酮酸	[M+H] <sup>+</sup>	196.0	124.9	10	15
			152.9		15
交链孢烯	[M+H] <sup>+</sup>	293.0	257.0	10	13
			275.0		11
链格孢毒素I	[M+H] <sup>+</sup>	391.1	315.0	40	16
			297.0		28
棒曲菌素	[M+H] <sup>+</sup>	153.0	81.0	10	12
			109.0		10
黄曲霉毒素M <sub>1</sub>	[M+H] <sup>+</sup>	329.1	273.0	30	22
			259.0		22
赭曲霉毒素B	[M+H] <sup>+</sup>	370.1	205.0	10	22
			187.0		34
α-赭曲霉毒素	[M+H] <sup>+</sup>	257.1	101.9	16	40
			220.9		22
玉米赤霉烯酮	[M+H] <sup>+</sup>	321.2	303.0	28	10
			189.0		16
α-和β-玉米赤霉醇	[M+H] <sup>+</sup>	319.2	275.1	30	22
			160.0		28
α-玉米赤霉醇	[M+H] <sup>+</sup>	321.2	277.1	30	22
			303.0		22
β-玉米赤霉醇	[M+H] <sup>+</sup>	321.2	277.1	30	22
			303.0		22
环己酮尼酸	[M+H] <sup>+</sup>	337.1	182.0	15	19
			196.0		12
霉酚酸	[M+H] <sup>+</sup>	321.1	207.0	28	22
			303.0		10
青霉菌毒素A	[M+H] <sup>+</sup>	634.4	558.1	34	22
			548.1		22
梭菌毒素	[M+H] <sup>+</sup>	327.0	263.1	16	10
			245.0		16
丹毒棒曲霉毒素C	[M+H] <sup>+</sup>	390.2	193.0	40	28
			322.0		22
黑麦酚D	[M+H] <sup>+</sup>	639.2	561.1	10	28
			589.1		22
阿托品	[M+H] <sup>+</sup>	290.2	124.0	10	22
			93.0		46
东莨菪碱	[M+H] <sup>+</sup>	304.2	138.0	20	28
			156.0		16
出珠镰刀菌素	[M+H] <sup>+</sup>	97.0	41.0	16	38

---

附表3.优化后的目标分析物MRM通道、采样锥孔电压(CV)和碰撞能量(CE)。

---

## 特色产品

ACQUITY UPLC I-Class PLUS系统 <<https://www.waters.com/134613317>>

Xevo TQ-XS三重四极杆质谱仪 <<https://www.waters.com/134889751>>

MassLynx MS软件 <<https://www.waters.com/513662>>

waters\_connect定量分析平台 <<https://www.waters.com/waters/nav.htm?cid=135091497>>

720007476ZH, 2021年12月

© 2022 Waters Corporation. All Rights Reserved.

[使用条款](#) [隐私](#) [商标](#) [网站地图](#) [招聘](#) [Cookie](#) [Cookie](#) [设置](#)

沪 ICP 备06003546号-2

京公网安备 31011502007476号