

# 三氟甲烷磺酸水解-HPLC法测定小麦中 结合态脱氧雪腐镰刀菌烯醇

耿志明\*, 杨丹, 张平平, 张旭, 杨学明, 马鸿翔  
(江苏省农业科学院 江苏省农业生物学重点实验室, 江苏 南京 210014)

**摘要:** **目的** 建立三氟甲烷磺酸水解-高效液相色谱(HPLC)测定小麦中结合态脱氧雪腐镰刀菌烯醇(DON)含量的分析方法。**方法** 通过3因素4水平正交试验, 确立三氟甲烷磺酸水解小麦中结合态DON的最佳条件。**结果** 水解温度60℃, 酸浓度1.0 mol/L, 时间60 min为最佳检测条件。检测了7个小麦样品中的结合态DON含量, 在DON污染的小麦样品中均检出有结合态DON, 其含量与游离态DON之比为0.20~0.36。**结论** 所建方法具有良好的可靠性和实用性。

**关键词:** 脱氧雪腐镰刀菌烯醇; 结合态脱氧雪腐镰刀菌烯醇; 三氟甲烷磺酸; 高效液相色谱法

## Determination of conjugated deoxynivalenol content in wheat by HPLC after hydrolysis with trifluoromethanesulfonic acid

GENG Zhi-Ming\*, YANG Dan, ZHANG Ping-Ping, ZHANG Xu,  
YANG Xue-Ming, MA Hong-Xiang

(Provincial Key Laboratory of Agrobiolgy, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China)

**ABSTRACT: Objective** To establish the method for determination of conjugated deoxynivalenol (DON) content in wheat by high performance liquid chromatograph (HPLC) after hydrolysis with trifluoromethanesulfonic acid (TFMSA). **Methods** The optimum conditions for hydrolysis of conjugated DON with TFMSA were set up by an orthogonal design, in which temperature was 60 °C, TFMSA was 1.0 mol/L and duration of hydrolysis was 60 min, respectively. **Results** Conjugated DON contents in 7 wheat samples were analyzed, and 5 samples were found containing conjugated DON with their ratios to free DON varying from 0.20 to 0.36. **Conclusion** The method was of good reliability and practicality.

**KEY WORDS:** deoxynivalenol; conjugated deoxynivalenol; trifluoromethanesulfonic acid; high performance liquid chromatograph

## 1 引言

脱氧雪腐镰刀菌烯醇(Deoxynivalenol, DON), 亦称呕吐毒素, 是赤霉病病原菌的次级代谢产物<sup>[1]</sup>。赤霉病导致谷类作物减产、加工品质下降, 而且受污染

谷物含有DON等真菌毒素。DON具有多种毒性作用: 低剂量摄入时可导致动物摄食减少、生长减缓, 高剂量时可导致厌食、呕吐、腹泻等中毒症状, 猪对DON尤其敏感<sup>[2]</sup>。在分子水平, DON对真核细胞具有多重抑制作用, 通过抑制蛋白质、DNA和RNA的合成,

基金项目: 国家科技部国际合作项目(2009DFA32020)和小麦产业技术体系项目(CARS-03)资助。

\*通讯作者: 耿志明, 男, 副研究员。从事食品安全、谷物化学等领域研究。E-mail: zmgeng@163.com

显著改变真核细胞体液免疫、细胞介导免疫功能<sup>[3]</sup>。欧美发达国家都规定了小麦中 DON 的最大限量<sup>[1]</sup>，我国规定小麦及小麦粉中 DON 的最大允许限量为 1000  $\mu\text{g}/\text{kg}$ <sup>[4]</sup>。

近期的研究发现，在赤霉病污染的谷物中除了 DON 以外，还存在与葡萄糖、脂肪酸等结合的结合态 DON<sup>[5]</sup>。和 DON 一样，结合态 DON 可以通过谷物加工留存在食品或饲料中，并且在哺乳动物的消化道内重新转变为游离态的 DON<sup>[6]</sup>，发挥毒性作用。因此，结合态 DON 对人类及动物健康具有潜在危害。由于结合态 DON 特殊的物理化学性质，在常规的高效液相色谱法(HPLC)中难以检测到结合态 DON 的存在。目前，谷物中结合态 DON 的分析方法主要有两种，一是利用液相色谱质谱/质谱联用(LC-MS/MS)分析特定的结合态 DON<sup>[5]</sup>，如脱氧雪腐镰刀菌烯醇-3-葡萄糖苷(D3G)，这种方法可以定性、定量分析谷物中的特定的结合态 DON，但需要标准样品以及昂贵的仪器设备；另一种方法是将结合态 DON 通过酶、酸等水解成 DON，然后再进行 DON 的分析，获得结合态 DON 的总量<sup>[7-9]</sup>。由于无需结合态 DON 的标准样品及昂贵仪器设备，这种间接分析方法是目前结合态 DON 的主要分析方法。Liu 等<sup>[9]</sup>利用三氯乙酸(TCA)催化水解，建立了小麦中结合态 DON 的分析方法，其优化的水解条件为 140  $^{\circ}\text{C}$ 下、1.0 mol/L TCA、水解时间 40 min。Zhou 等<sup>[8]</sup>研究了三氟乙酸(TFA)水解大麦中结合态 DON 的最佳条件(133  $^{\circ}\text{C}$ 、1.25 mol/L TFA、水解时间 54 min)。TCA、TFA 均具有催化结合态 DON 水解为游离态 DON 的性能，但需要在高温、甚至高压下进行水解反应。与 TCA、TFA 相比，三氟甲烷磺酸(TFMSA)是更强的单元质子酸，在糖蛋白脱葡萄糖基化反应中具有优异的催化性能<sup>[10]</sup>，但在谷物结合态 DON 分析中应用的研究报道还很少。本文采用 TFMSA 水解小麦中结合态 DON，探索在温和的条件下水解结合态 DON 的最佳条件，然后通过 HPLC-UV 分析水解前后样品中的游离态 DON，对小麦中结合态 DON 进行定量分析，并将这一方法进行初步应用。

## 2 材料与方法

### 2.1 仪器与设备

U-3000高效液相色谱仪(美国Dionex公司)，配有可变波长紫外检测器VWD-3000；高速台式冷冻离心

机(德国Heraeus公司)；N-EVEP112氮气吹干仪(美国Organomation associates公司)；UP2200H超声波水浴(南京垒君达超声电子有限公司)。

### 2.2 试剂

DON 标准溶液(100  $\mu\text{g}/\text{mL}$ ，美国 Sigma-Aldrich 公司)，三氟甲烷磺酸(98%；英国 Alfa-Aesar 公司)，乙腈(色谱纯，美国 Merck 公司)，水为超纯水，其余试剂均为分析纯。DON test 免疫亲和小柱(美国 Vicam 公司)。小麦样品为 2010—2011 年度在江苏省农科院植物基地种植的小麦品种。

DON 系列标准液配制：吸取适量 DON 标准溶液(100  $\mu\text{g}/\text{mL}$ )用水稀释至 0.1~2.0  $\mu\text{g}/\text{mL}$ ， $-20^{\circ}\text{C}$  保存。

三氟甲烷磺酸溶液配制：吸取适量三氟甲烷磺酸至水中，配置成浓度为 0.25、0.5、1.0、2.0 mol/L 的溶液，室温保存。

### 2.3 小麦中游离态DON含量的分析

根据文献<sup>[11]</sup>并略作修改：称取 2.5 g 粉碎的小麦样品于 50 mL 离心管中，加入 20 mL 水，漩涡震荡后在超声波水浴室温下超声振荡 30 min。然后 10000 r/min 条件下离心 10 min，取上清液 8 mL 通过 DON 免疫亲和柱，10 mL 水洗涤，抽干小柱，用 1 mL 甲醇洗脱。洗脱液 40  $^{\circ}\text{C}$  下  $\text{N}_2$  吹扫至干，用 500  $\mu\text{L}$  水溶解(若 DON 含量高，可用水进行适当稀释)，过 0.22  $\mu\text{m}$  滤膜，供 HPLC 分析。采用外标法定量，标准曲线通过分析 DON 系列标准溶液(0.1~2.0  $\mu\text{g}/\text{mL}$ )建立。

色谱条件：色谱柱，Xtimate C18 (4.6 mm $\times$ 250 mm, 5  $\mu\text{m}$ )；流动相，10% 乙腈水溶液(v/v)；流速，1.0 mL/min；检测波长，224 nm；进样体积，20  $\mu\text{L}$ 。

### 2.4 三氟甲烷磺酸水解结合态DON

三因素 4 水平正交试验观察不同浓度酸(0.25~2.0 mol/L)、水解时间(20~80 min)及温度(20~80  $^{\circ}\text{C}$ )下结合态 DON 的转化率(转化的结合态 DON 与游离态 DON 之比)。

称取 2.5 g 粉碎的小麦样品(扬麦 14)于 50 mL 离心管中，加入 16 mL 水，漩涡震荡后在超声波水浴室温下超声振荡 30 min。加入 0.5 mL 三氟甲烷磺酸溶液，漩涡震荡后置于恒温水浴中水解，水解结束后用 1.0 mol/L 碳酸钠溶液中和，并用水使溶液总体积为 20 mL。然后 10000 r/min 条件下离心 10 min，取上清液 8 mL 通过 DON 免疫亲和柱，10 mL 水洗涤，抽干小柱，用 1 mL 甲醇洗脱。洗脱液 40  $^{\circ}\text{C}$  下  $\text{N}_2$  吹扫至

干, 用 500  $\mu\text{L}$  水溶解(若 DON 含量高, 可用水进行适当稀释), 过 0.22  $\mu\text{m}$  滤膜, 按“2.3 小麦中游离态 DON 含量的分析”中的色谱条件进行 HPLC 分析。

## 2.5 DON 添加回收试验

称取 2.5 g 粉碎的阴性小麦样品(镇麦 168)于 50 mL 离心管中, 加入适量 DON 的标准溶液(100  $\mu\text{g}/\text{mL}$ )室温下放置 30 min, 加入 16 mL 水, 漩涡震荡后在超声波水浴室温下超声振荡 30 min。按“2.4 三氟甲烷磺酸水解结合态 DON”确立的最佳条件进行水解, 并在水解结束后同样处理, 按“2.3 小麦中游离态 DON 含量的分析”中的色谱条件测定 DON 的含量, 计算回收率。

## 2.6 小麦样品中结合态 DON 含量的分析

称取 2.5 g 粉碎的小麦样品于 50 mL 离心管中,

加入 16 mL 水, 漩涡震荡后在超声波水浴室温下超声振荡 30 min。按“2.4 三氟甲烷磺酸水解结合态 DON”确立的最佳条件进行水解, 并在水解结束后同样处理, 按“2.3 小麦中游离态 DON 含量的分析”中的色谱条件测定 DON 的含量, 获得的 DON 含量结果扣除“2.3 小麦中游离态 DON 含量的分析”中游离态 DON 含量即为样品中结合态 DON 的含量。

## 3 结果

### 3.1 三氟甲烷磺酸水解条件的优化

为了获得三氟甲烷磺酸水解小麦中结合态 DON 的最佳条件, 试验选择了扬麦 14 为样本, 通过 3 因素 4 水平正交试验观察了不同温度(20、40、60、80  $^{\circ}\text{C}$ ), 不同酸浓度(0.25、0.5、1.0、2.0 mol/L)和不同反应时间(20、40、60、80 min)对结合态 DON 转化率的影

表1 正交试验方案及试验结果\*  
Table 1 The orthogonal design and its result

试验号 No.	温度( $^{\circ}\text{C}$ ) Temperature	TFMSA 浓度(mol/L) TFMSA Concentration	时间(min) Duration	转化率( $\times 100$ ) Yield
1	20	0.25	20	0.0
2	20	0.5	40	3.4
3	20	1.0	60	9.2
4	20	2.0	80	5.2
5	40	0.25	40	7.3
6	40	0.5	20	6.6
7	40	1.0	80	26.5
8	40	2.0	60	25.1
9	60	0.25	60	7.6
10	60	0.5	80	20.2
11	60	1.0	20	15.4
12	60	2.0	40	22.1
13	80	0.25	80	6.8
14	80	0.5	60	17.5
15	80	1.0	40	22.8
16	80	2.0	20	20.4
T1	17.8	21.7	42.4	
T2	65.5	47.7	55.6	
T3	72.1	73.9	59.4	
T4	60.7	72.8	58.7	
m1	4.5	5.4	10.6	216.1
m2	16.4	11.9	13.9	
m3	18.0	18.5	14.9	
m4	15.2	18.2	14.7	
R	13.5	12.8	4.3	

\* 转化率: 结合态 DON(以 DON 计)和游离态 DON 之比; T 为不同水平每一因素的转化率之和; m 为不同水平每一因素的转化率平均值; R 为每一因素不同水平间转化率的极差。

\* Yield: ratio of conjugated DON to free DON; T: sum of yields at different levels for each parameter; m: average yields at different levels for each parameter; R: difference between the minimum and maximum for each parameter.

响, 试验结果列于表 1。从表 1 可以看出三因素对结合态 DON 转化率的影响依次为: 水解温度~TFMSA 浓度 > 水解时间, 水解温度及酸浓度对结合态 DON 的转化影响较大, 而反应时间的影响相对较小, 最佳的水解条件为温度 60 °C、酸浓度 1.0 mol/L、水解时间 60 min。

### 3.2 DON 的添加回收试验

在阴性样品(镇麦 168)中添加了不同浓度(200~1000 µg/kg)的 DON, 在正交试验获得的最佳条件(温度 60 °C、酸浓度 1.0 mol/L、水解时间 60 min)下进行水解, 然后分析样品中 DON 的含量, 计算添加回收率(表 2), 观察水解条件下 DON 的稳定性。不同的添加水平(200~1000 µg/kg)的回收率为 86.4~102.6%, 表明在结合态 DON 的水解过程中, DON 没有被三氟甲烷磺酸分解。

表 2 DON 添加回收试验结果( $n=3$ )\*

Table 2 Recoveries for DON spiked samples

添加量(µg/kg) Added	测得量(µg/kg) Determined	回收率(%) Recoveries
200	172.8	86.4
500	461.5	92.3
1000	1026.2	102.6

\*为 3 次重复的平均值。

\*Average of triplicate tests.

### 3.3 小麦样品中游离态 DON 和结合态 DON 的分析

表 3 列出了 2009—2010 年度在江苏省农科院植物基地种植的小麦样品中游离态 DON 和结合态 DON 的分析结果。游离态 DON 含量 ND-4352.7 µg/kg, 结合态 DON 含量 ND-988.5 µg/kg。除宁麦 13、镇麦 168 外, 其余小麦样品中

均含有 DON 和结合态 DON, 结合态 DON 与游离态 DON 之比 0.20~0.36。

## 4 讨论

上世纪 80 年代国外学者即推测赤霉病污染的谷物中可能有结合态 DON 存在<sup>[12,13]</sup>, 植物通过将赤霉病病原菌产生的 DON 代谢为结合态 DON, 降低 DON 的致病作用、抑制赤霉病在植物中的扩展<sup>[13]</sup>。研究表明, DON 的葡萄糖、脂肪酸结合物是谷物中主要的结合态 DON<sup>[5]</sup>。通过强酸水解间接测定结合态 DON 是目前谷物中结合态 DON 分析的主要方法, 其中酸种类、酸浓度、水解温度和时间等是影响结合态 DON 分析结果的主要因素<sup>[8,9]</sup>。

本文 TFMSA 水解结合态 DON 正交试验表明, 水解温度是影响小麦中结合态 DON 转化的最重要的因素。最佳水解温度是 60 °C, 在更高或更低温度下水解, 转化率都出现了下降。TFMSA(pKa = -13)是已知最强的单元质子酸之一, 在脱酯化、脱糖基化反应中是高效的催化剂, 具有优异的催化水解能力<sup>[10]</sup>。其它酸具有类似的催化能力, 如 TCA、TFA, 但由于相对较弱的酸强度(pKa 分别为 0.3 和 0.08)只有在较高的温度(130~140 °C)下才能催化水解反应<sup>[8]</sup>。对于结合态 DON 的转化, TFMSA 浓度几乎具有与水解温度同样重要的作用, 较低的酸浓度需要更长的水解反应时间, 而且即便延长也不能获得理想的转化率。本文获得的 TFMSA 的最适宜浓度为 1.0 mol/L, 与 TCA、TFA(分别为 1.0 mol/L 和 1.25 mol/L)相类似。这从另一方面表明, 不管酸的强度如何, 一定的浓度是获得理想催化性能的前提。反应时间是结合态

表 3 小麦中 DON 和结合态 DON 含量( $n=3$ )\*

Table 3 Contents of free DON and conjugated DON in wheat samples

样品 Sample	游离态 DON(µg/kg) Free DON	结合态 DON(µg/kg) Conjugated DON	结合态 DON/游离态 DON Conjugated DON/free DON
宁麦 9 号	582.2	159.4	0.27
宁麦 13	ND	ND	/
宁麦 15	298.3	107.4	0.36
山农优麦 3 号	3907.2	988.5	0.25
山农 12 号	4352.7	892.3	0.20
扬麦 14	903.6	246.5	0.27
镇麦 168	ND	ND	/

\* 结合态 DON 以 DON 计, 结果为 3 次重复的平均值; ND 为未检出, 50 µg/kg。

\* Conjugated DON: average of triplicate tests, expressed as DON; ND: not detected.

DON 转化影响作用相对较小的因素, 但足够的反应时间对于结合态 DON 的转化是必须的。

DON 具有良好的稳定性, 即使在 170℃ 下加热 30 min 也未见其分解<sup>[14]</sup>, Zhou<sup>[8]</sup>等研究发现, 在大麦中添加的 DON 在 133℃ 加热 54 min 后, 仍然保持 100%~105% 的回收率。但也有研究认为 DON 长时间处于高温及低 pH 值时可能会出现降解, Lauren 等<sup>[15]</sup>研究发现在 pH4 的溶液中 80℃ 保持 24 小时会显著降低 DON 的浓度。对于通过水解间接测定谷物中结合态 DON 含量的方法而言, 酸水解结合态 DON 时, 游离态 DON 是否被降解对于结果是否可靠至关重要。本实验 DON 不同的添加浓度在 60℃ 水解 60 min 后的回收率为 86.4%~102.6%, 表明这样的水解条件不仅可以获得最佳的结合态 DON 转化率, 同时还不至于造成 DON 降解, 保证了结合态 DON 分析结果的可靠性。

本试验在最佳 TFMSA 水解条件下水解小麦样品中的结合态 DON, 采用 DON 免疫亲和柱结合 HPLC-UV 分析了水解前后 7 个小麦样品中 DON 含量。其中 5 个样品中检出 DON, 并且同时检出结合态 DON, 结合态 DON 与游离态 DON 之比为 0.20~0.36。近年来的研究表明, 在赤霉病污染的主要谷物类作物(大麦、小麦、玉米等)中普遍存在结合态 DON<sup>[5]</sup>。Berthiller 等<sup>[16]</sup>对 2005—2006 年产自欧洲和南非的小麦、玉米样品进行了调查, D3G 分别相当于 DON 含量的 17% 和 14%。Zhou 等<sup>[8]</sup>发现赤霉病污染的大麦中结合态 DON 相当于游离态 DON 的 9%~88%。Liu 等<sup>[9]</sup>研究表明染病小麦中结合态 DON 可占游离态 DON 的 13%~63%。就现有结果而言, 在自然污染的谷物中结合态 DON 的浓度就像游离态 DON 浓度一样, 变化的幅度很大。赤霉病病原菌种类繁多, 不同的菌株产毒能力不同, 即便相同的菌株在不同的气候、环境条件下其产毒能力也有变化<sup>[1]</sup>; 另一方面, 结合态 DON 是植物代谢 DON 的产物, 不同植物种类及品种, 由于其赤霉病抗性不同导致其代谢 DON 的能力不同<sup>[13]</sup>; 所以在结合态 DON 污染水平上难以获得一致的结果。

本试验获得的结果表明, TFMSA 水解结合 HPLC-UV 小麦中结合态 DON 含量的分析方法具有良好的可靠性和实用性, 可用于小麦及其它谷物中结合态 DON 的分析测试工作。由于目前尚难以确认结合态 DON 的种类及缺乏相应的标准样品, 还不能

开展更为广泛的添加回收等验证试验。条件成熟时, 这一方面的研究工作应进一步加强。

#### 参考文献

- [1] Foroud NA, Eudes F. Trichothecenes in cereal grains [J]. *Int J Mol Sci*, 2009, 10: 147-173.
- [2] 霍星华, 赵宝玉, 万学攀, 等. 脱氧雪腐镰刀菌烯醇的毒性研究进展[J]. *毒理学杂志*, 2008, 22(2): 151-154.
- [3] Rocha O, Ansar K, Doohan FM. Effects of trichothecene mycotoxins on eukaryotic cells: a review [J]. *Food Addit Contam*, 2005, 22: 369-378.
- [4] 中华人民共和国标准. 食品中真菌毒素限量标准[S]. GB2761-2011.
- [5] Berthiller F, Dall'Asta C, Schuhmacher R, *et al*. Masked mycotoxins: determination of a deoxynivalenol glucoside in artificially and naturally contaminated wheat by LC-MS/MS [J]. *J Agric Food Chem*, 2005, 53: 3421-3425.
- [6] Berthiller F, Schuhmacher, Adam G, *et al*. Formation, determination and significance of masked and other conjugated mycotoxins [J]. *Anal Bioanal Chem*, 2009, 395: 1243-1252.
- [7] Zhou B, Schwarz P, He GQ, *et al*. Effect of enzyme pretreatments on the determination of deoxynivalenol in barley [J]. *J Am Soc Chem*, 2008, 66: 103-108.
- [8] Zhou B., Li Y, Gillespie J, *et al*. Doehlert matrix design for optimization of the determination of bound deoxynivalenol in barley grain with trifluoroacetic acid (TFA) [J]. *J Agric Food Chem*, 2007, 55: 10141-10149.
- [9] Liu Y, Walker F, Hoeglinger B, *et al*. Solvolysis procedures for the determination of bound residues of the mycotoxin deoxynivalenol in *Fusarium* species infected grain of two winter wheat cultivars preinfected with barley yellow dwarf virus [J]. *J Agric Food Chem*, 2005, 53: 6864-6869.
- [10] Edge AS, Faltynek CR, Hof L, *et al*. Deglycosylation of glycoproteins by trifluoromethanesulfonic acid [J]. *Anal. Biochem*. 1981, 118: 131-137.
- [11] 张鹏, 张艺兵, 鲍蕾, 等. 出入境粮谷中呕吐毒素检测方法的研究[J]. *检验检疫科学*, 2003, 13(2): 8-10.
- [12] Young JC, Fulcher RG, Hayhoe JH, *et al*. Effect of milling and baking on deoxynivalenol(vomitoxin)content of eastern Canadian wheats [J]. *J Agric Food Chem*, 1984, 32, 659-664.
- [13] Miller JD, Young JC, Trenholm HL. *Fusarium* Toxins in Field Corn I: Parameters Associated with Fungal Growth and Production of Deoxynivalenol and Other Mycotoxins [J]. *Can J Bot*, 1983, 61: 3080-3087.
- [14] Masayo Kushiro. Effects of milling and cooking processes on the deoxynivalenol content in wheat [J]. *Int J Mol Sci* 2008, 9: 2127-2145.

- [15] Lauren, DR, Smith, WA. Stability of the Fusarium mycotoxins nivalenol, deoxynivalenol and zearalenone in ground maize under typical cooking environments [J]. Food Addit Contam, 2001, 18: 1011-1016.
- [16] Berthiller F, Dall'asta C, Corradini R, *et al.* Occurrence of deoxynivalenol and its 3-beta-D-glucoside in wheat and maize [J]. Food Addit Contam, 2009, 26: 507-511.

(责任编辑: 孙媛媛)

## 作者简介

耿志明, 男, 副研究员。从事食品安全、谷物化学等领域研究。

E-mail: zmgeng@163.com

---

## “食品有害残留物”专题约稿

《食品安全质量检测学报》感谢各位专家的大力支持!本刊自 2010 年 1 月创刊以来,得到本领域专家及管理部門的充分肯定,在国内食品安全与质量研究领域的影响越来越大。

近年来,食品安全得到了国家越来越多的重视,但我国的食品安全问题仍较严重。鉴于此,学报特别策划了“食品有害残留物”专题,围绕食品有害残留物(如农药、兽药、鱼药等)检测、监测、溯源等的相关技术和方法等问题展开讨论,计划在 2012 年出版,目前尚缺部分优秀稿件。因此,编辑部特向各位专家诚征惠稿,综述、研究论文均可,以期进一步提升该专题的学术质量和影响力。请通过网站或 Email 投稿。我们将快速处理并优先发表专题论文。

### 投稿方式:

网站: [www.chinafoodj.com](http://www.chinafoodj.com)

Email: [tougao@chinafoodj.com](mailto:tougao@chinafoodj.com)

《食品安全质量检测学报》编辑部