

高效液相色谱—紫外检测法测定微生物降解体系中己烯雌酚含量

Determination of diethylstilbestrol in microbial degradation systems by HPLC—UV

邓维琴 李阿霜 彭 贤 刘霜霜 胡凯弟

DENG Wei-qin LI A-shuang PENG Xian LIU Shuang-shuang HU Kai-di

张梦梅 何 利 陈姝娟 韩新锋 刘书亮

ZHANG Meng-mei HE Li CHEN Shu-juan HAN Xin-feng LIU Shu-liang

(四川农业大学食品学院, 四川 雅安 625014)

(College of Food Science, Sichuan Agricultural University, Ya'an, Sichuan 625014, China)

摘要:采用 HPLC—UV 法测定微生物降解体系中己烯雌酚 (DES) 的含量。根据霉菌和细菌发酵体系的不同性质选用不同的提取方法,以 Sepax GP-C₁₈ 柱 (150 mm×4.60 mm, 5.0 μm) 为色谱柱,甲醇:水 (7:3, V/V) 为流动相,流速 0.7 mL/min,用紫外检测器在 242 nm 处检测。结果显示 DES 对照品的保留时间为 7.714 min,在 0.5~50.0 mg/L 浓度范围内线性关系良好,相关系数为 0.996 3。细菌发酵液中 DES 平均回收率为 94.04%,RSD 为 2.33%;霉菌发酵液中 DES 平均回收率为 95.24%,RSD 为 1.05%。DES 的检测限不大于 0.30 mg/L。运用该方法测得实验室保藏的 4 株菌 5 d 内对 25 mg/L 的 DES 降解率分别为 62.38%, 64.72%, 53.38%, 88.34%。该方法检测微生物降解体系中 DES 简单、快速、准确、分离度好,精密度高,稳定性好。

关键词:己烯雌酚;微生物降解体系;检测;HPLC—UV 法

Abstract: The concentration of diethylstilbestrol (DES) in the microbial degradation systems was determined using HPLC—UV. Different extraction methods were used in the fungi and bacteria fermentation systems, DES was separated through a Sepax GP-C₁₈ (150 mm×4.60 mm, 5.0 μm), eluted with methanol-water (7:3, V/V) at 0.7 mL/min, and detected at 242 nm. Results showed that retention time of DES was 7.714 min. Good linearity was obtained with the detection limits of 0.5~50.0 mg/L with a correlation coefficient of 0.996 3. The average spike recovers of DES for bacteria and fungi fermentation systems were 94.04% and 95.24%, respectively, with RSD of 2.33% and 1.05%, respectively. The limits of detec-

tion was not more than 0.30 mg/L. Results showed that the ratios of DES (25 mg/L) degradation of four strains could degrade 62.38%, 64.72%, 53.38%, 88.34%, respectively in 5 d. The developed method presented the benefits of simplicity, rapidity, good separation, high accuracy, high precision and good stability.

Keywords: diethylstilbestrol; microbial degradation system; determination; HPLC—UV

己烯雌酚 (diethylstilbestrol, DES) 是一种人工合成的非甾体雌激素类药物,曾被当作提高动物繁殖性能的药物使用^[1]。DES 作为一种内分泌干扰物^[2],能够引起肝脏损伤,少儿早熟,基因突变以及人体内激素失调,女性乳腺癌、卵巢癌等疾病^[3-5]。由于其对激素系统有影响,对机体有慢性毒性,美国 FDA 和中华人民共和国农业部均规定禁止其用于动物性食品^[6-7]。但目前己烯雌酚的残留问题仍然很严重,如西班牙加泰罗尼亚地区的污水处理厂排出的废水中 DES 的含量为 34 ng/L^[8-9];高舒榭等^[10]对中国南阳市市售鸡肉随机抽检的 40 份样品中均检出了 DES,残留量最高的达 10 mg/kg。动物养殖户违规使用,化学排放,污水处理厂和垃圾填埋场等都可能造成 DES 残留于动物性产品、水体和土壤环境中^[11]。近年来,降解或消除 DES 的方法已受到广泛关注。

微生物降解法被认为是消除有害化合物污染的佳选方法之一^[12]。Zhang 等^[13]筛选了一株对 DES 具有降解作用的假单胞菌,徐冉芳等^[14]筛选并研究了沙雷氏菌 S 对 DES 的降解特性。简单、快速、准确的 DES 检测方法是其生物降解研究的基础,然而目前还未见针对微生物降解体系中 DES 检测方法的报道。目前关于 DES 检测方法的研究主要集中于残留 DES 的食品^[15],且这些检测以液相色谱—质谱

作者简介:邓维琴 (1990—),女,四川农业大学在读硕士研究生。

E-mail: dengweiqin77@163.com

通讯作者:韩新锋,刘书亮

收稿日期:2015-10-09

(LC—MS)^[16]、气相色谱—质谱(GC—MS)^[17]和液相色谱(HPLC)^[18]法为主,这些检测方法的前处理方法对于DES含量相对较高、基质成分相对简单的微生物降解体系而言相对复杂、耗时。

HPLC—UV检测方法由于操作简单,重复性好,准确可靠,被广泛用于定性、定量检测^[19-20]。本试验旨在建立一种简单、准确、快速的HPLC—UV法,检测微生物降解体系(包括细菌和霉菌)中的DES残留量,为微生物降解DES的研究提供方法参考。

1 材料与方 法

1.1 材料与仪器

LB液体培养基:酵母膏5g、蛋白胨10g、氯化钠10g、水1000mL,调节pH至7.0,121℃灭菌15min。加入2%琼脂为LB固体培养基;

马铃薯葡萄糖培养基(PD):新鲜土豆去皮切块,称取200g,加入500mL蒸馏水煮沸20min,过滤,加葡萄糖20g,再加蒸馏水至1000mL,121℃灭菌15min。加入2%琼脂为PDA培养基;

基础盐培养基(MM):磷酸二氢钾0.5g,磷酸氢二钾1.5g,硫酸铵1.5g,硫酸镁0.2g,氯化钠0.5g,蒸馏水定容至1000mL,pH调至7.0;

DES对照品:纯度99.5%,德国默克集团;

甲醇:色谱纯,广东光华公司;

菌种:枯草芽孢杆菌(*Bacillus subtilis*)JF,地衣芽孢杆菌(*Bacillus licheniformis*)B-1,米曲霉(*Aspergillus oryzae* sp.)M4,黑曲霉(*Aspergillus niger*)YAT,四川农业大学食品微生物室保藏;

液相色谱系统:LC-10A2010C HT型,配有可变波长紫外检测器(UV)和LC-solution1.1色谱工作站,日本岛津公司;

紫外可见分光光度计:UV-3200(PC)型,上海美谱达仪器有限公司;

超纯水仪:Milli-Q型,德国密理博公司;

超声波清洗器:AS10200A型,天津奥特赛恩斯公司。

1.2 试验方法

1.2.1 色谱条件 色谱柱:Sepax GP-C₁₈柱(150mm×4.6mm,5.0μm);流动相:以甲醇和超纯水作流动相,比较不同比例(V/V)组成(6:4,7:3,8:2,9:1,1:1)的流动相,不同流速(0.6,0.7,0.8mL/min)对DES检测的影响;检测波长的确定:吸取100mg/L DES对照品储备液1.0mL,以流动相甲醇定容到10mL,配制质量浓度为10mg/L的溶液,进行紫外光全波长(190~410nm)扫描,选取DES最大吸收波长分析DES的测定情况;柱温:25℃;进样量:10μL。

1.2.2 标准曲线 参照赵楠^[21]的方法配制100mg/L的对照品储备液。分别吸取100mg/L DES标准储备液0.05,0.1,0.2,0.5,1.0,2.0,3.0,4.0,5.0mL用甲醇定容到10mL,配制得质量浓度分别为0.5,1.0,2.0,5.0,10.0,20.0,30.0,40.0,50.0mg/L的系列标准曲线工作液。按试验确定的色谱条件测定,以质量浓度X(mg/L)为横坐标、峰面积(Y)为纵坐标进行线性回归。

1.2.3 回收率试验 分别挑取枯草芽孢杆菌(*Bacillus subtilis*)JF和米曲霉(*Aspergillus oryzae*)M4于LB固体和PDA培养基上划线,30℃分别培养48h和72h,用生理盐水分别将LB固体培养基上的菌苔、PDA培养基的孢子洗脱并混匀,移取1mL不同菌(孢子)液分别接种于29mL(250mL三角瓶)的LB培养基和PD培养基中,30℃培养48h,在菌株JF和M4的发酵液中加入DES对照溶液使DES浓度分别为20,50,70mg/L,分别按下列样品处理方法制备样品溶液,并按试验确定的色谱条件进样测定DES含量(每个浓度做3个平行)。

细菌培养体系中DES的提取^[22]:准确移取1mL培养液于刻度试管(10mL)中,用甲醇定容至10mL,超声波清洗器辅助提取20min;混匀后取1.5mL样品于冷冻离心机中离心(12000r/min)15min,0.45μm有机相滤膜过滤上清液,弃去初滤液约0.5mL,收集续滤液为样品溶液,供HPLC分析用。

霉菌培养体系中DES的提取^[23]:采用全量(整瓶培养液)取样方式,加入30mL的甲醇,于超声波清洗器(AS10200A)中超声提取30min;取2.0mL超声提取液于刻度试管中,用甲醇定容至10mL,混匀后取1.5mL样品于冷冻离心机中离心(12000r/min)15min,0.45μm有机相滤膜过滤上清液,收集续滤液为样品溶液,供HPLC分析用。

1.2.4 精密度试验 按照1.2.3处理方式,在菌株JF发酵液中加入DES对照溶液使DES浓度为25mg/L,提取处理得样品溶液,按试验确定的色谱条件连续进样5次进行分析。

1.2.5 稳定性试验 稳定性试验包括日内稳定性和日间稳定性,在日内(5个时间点,间隔4h)、日间(3个时间点,间隔24h)分别对1.2.3中DES浓度为25mg/L的样品溶液进行HPLC检测,分析实际检测的质量浓度,用相对标准偏差(RSD)表示稳定性。

1.2.6 方法检测限 按照1.2.3处理方式,在菌株JF发酵液中加入DES对照溶液使DES浓度为0.05,0.10,0.20,0.30,0.40,0.50mg/L,分别提取得样品溶液,以3倍信噪比的信号为准,进样量10μL,检测方法的检测限。

1.2.7 微生物降解体系中样品测定 分别挑取枯草芽孢杆菌(*Bacillus subtilis*)JF、地衣芽孢杆菌(*Bacillus licheniformis*)B-1于LB琼脂培养基上划线,30℃培养48h;米曲霉(*Aspergillus oryzae*)M4,黑曲霉(*Aspergillus niger*)YAT于PDA培养基上划线,30℃培养72h,用生理盐水分别将LB培养基上的菌苔和PDA培养基上的孢子洗脱并混匀制备菌(孢子)悬液。移取1mL菌悬液分别接种于29mL(250mL三角瓶)的LB液体培养基和MM培养基中,加入DES至终浓度为25mg/L,以1mL生理盐水代替种子液为空白对照。30℃、180r/min振荡培养5d;按1.2.3的方法进行DES提取,以试验确定的色谱条件测定4种菌株发酵液中的DES残留量,试验重复3次。DES降解率按式(1)计算:

$$D = \frac{C_0 - C}{C} \times 100\% \quad (1)$$

式中:

D——降解率,%;

C_0 ——空白对照中 DES 浓度,mg/L;

C ——培养液中 DES 残留浓度,mg/L。

2 结果与分析

2.1 选择检测波长

紫外光全波长扫描光谱图(见图 1)显示 DES 在 201 nm 和 239~242 nm 处有较大吸收值。试验比较 201 nm 和 242 nm 分别作为检测波长的检测效果。结果证明,样品中 DES 在 201 nm 处吸光值较大,但是溶剂及培养基中杂质在该波长条件下的杂峰较多,且溶剂在该波长条件下吸收值特别大,影响数据的分析;DES 在 242 nm 处的吸光值比 201 nm 处的低,但溶剂及培养基组分在该条件处的杂峰较少,目标峰峰形较好,因此试验选择 242 nm 作为检测波长。

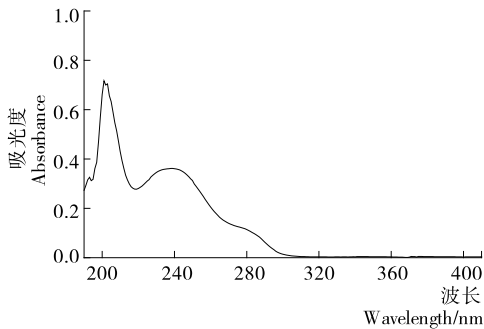


图 1 DES 对照品吸收光谱

Figure 1 UV spectrum of DES standard

2.2 流动相及流速确定

以甲醇和超纯水为流动相,每次增加甲醇浓度 10% 的方式探讨了 DES 检测的最佳流动相配比。结果表明,随着甲醇比例的增加,DES 保留时间提前,信号强度增强,但与样品溶液中的非目标峰分离变差,峰形较差。当甲醇与水比例为 7:3(V/V)时,DES 色谱峰峰形最佳,与非目标峰分离较好,因此最终确定甲醇与水组成比例 7:3 为最终的流动相组成。

同时,在确定流动相的基础上考察不同流速(0.60, 0.70, 0.80 mL/min)条件下的分离情况。结果表明,随着流速的提高,色谱柱柱压上升,样品出峰时间提前。流速 0.7 mL/min 时 DES 保留时间较 0.6 mL/min 明显缩短;而与 0.8 mL/min 相比,保留时间略长,但其与非目标峰的分离较好,且柱压相对较低,因此最终确定流动相流速为 0.7 mL/min。

在以上确定的色谱条件下 DES 的色谱图见图 2, DES 保

留时间为 7.714 min,峰形良好,无拖尾,2.245 min 左右有溶剂峰;样品溶液(1.2.3 中处理的样品溶液)的色谱图见图 3,样品溶液中 DES 保留时间为 7.718 min,峰形良好,与非目标物质的分离也很好,2.252 min 左右也有杂质峰,可能是样品培养基中的成分及溶剂的信号。由于样品在前处理时被稀释了 10 倍,所以样品溶液中 DES 的峰面积比 DES 对照品峰面积小。

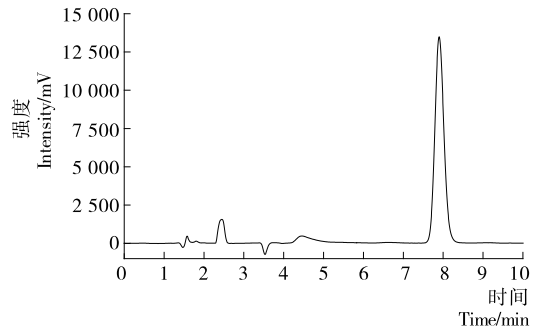


图 2 DES 对照品(10 mg/L)溶液色谱图

Figure 2 Chromatogram of DES standard (10 mg/L)

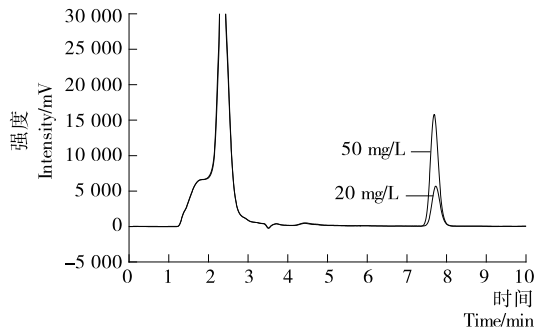


图 3 DES 样品溶液色谱图

Figure 3 Chromatograms of DES samples

2.3 DES 标准曲线

按试验确定的较优色谱条件:检测波长 242 nm,流动相 甲醇:水=7:3,流速 0.7 mL/min 测定。以质量浓度 X (mg/L) 为横坐标、峰面积(Y)为纵坐标进行线性回归。结果表明,DES 浓度在 0.5~50.0 mg/L 范围内线性关系良好,回归方程为 $Y = 52\,007X - 1\,228.1$,相关系数 $R^2 = 0.9963$ 。

2.4 回收率

由表 1 可知,细菌培养体系中 DES 平均回收率为 94.04%,RSD 为 2.33%;霉菌培养体系中 DES 平均回收率为 95.24%,RSD 为 1.05%。

表 1 回收率试验结果

Table 1 Results of recovery for spiked samples

微生物体系	发酵液 DES 含量/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	加标质量浓度/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	测定值/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	回收率/%	回收率平均值/%	RSD/%	RSD 平均值/%
细菌	0.00	70.00	67.25	96.07	94.04	2.71	2.33
	0.00	50.00	47.14	94.28			
	0.00	20.00	18.36	91.78			
霉菌	0.00	70.00	66.61	95.16	95.24	0.92	1.05
	0.00	50.00	48.98	97.97			
	0.00	20.00	18.52	92.59			

2.5 精密度

在以上确定的色谱条件下,对 25 mg/L 的样品溶液连续进样 5 次,进行 HPLC 分析。测得吸收峰面积分别为 120 263.29,117 556.41,116 245.03,123 170.84,119 207.25,相对标准偏差(RSD)为 2.23%,表明检测精密度高。

2.6 稳定性

稳定性试验结果(见表 2)显示,该方法在检测 25 mg/L 样品溶液中 DES 时日内稳定性 RSD 值为 2.68%,日间稳定性的 RSD 为 2.61%,稳定性良好。

2.7 检测限

根据不同质量浓度的 DES 样品溶液的检测结果,得出

表 2 DES 测定稳定性[†]

Table 2 Results of stability test for diethylstilbestrol

指标	测定值/(mg · L ⁻¹)					平均值/ (mg · L ⁻¹)	RSD/ %
日内稳定性	23.16	23.45	24.29	22.72	22.83	23.48	2.68
日间稳定性	23.38	23.12	24.29	—	—	23.51	2.61

† —表示无测定值。

DES 的检测限小于或等于 0.30 mg/L。

2.8 微生物降解体系中样品测定结果

对 4 株菌发酵液中的 DES 残留量进行测定,重复 3 次,计算其降解率,结果见表 3。所有样品中 DES 的质量浓度均较发酵液中的 DES 初始浓度(25 mg/L)有不同程度的减少,说明 4 株菌对 DES 都有一定的降解作用,降解率分别为 62.38%,64.72%,53.38%,88.34%。4 株菌降解己烯雌酚的色谱图见图 4,图 4 显示 11.580 min 左右有新的色谱峰出现,此处可能是己烯雌酚被微生物降解生成的产物。研究结果为这 4 株菌对 DES 降解特性及应用的研究提供了数据参考。

表 3 4 株菌对 DES(25 mg/L)降解率测定结果

Table 3 Degradation rates of DES (25 mg/L) by four strains (n=3)

菌株	DES 降解率/%	RSD/%
枯草芽孢杆菌 JF	62.38	1.92
地衣芽孢杆菌 B-1	64.72	2.62
米曲霉 M 4	53.38	4.54
黑曲霉 YAT	88.34	1.58

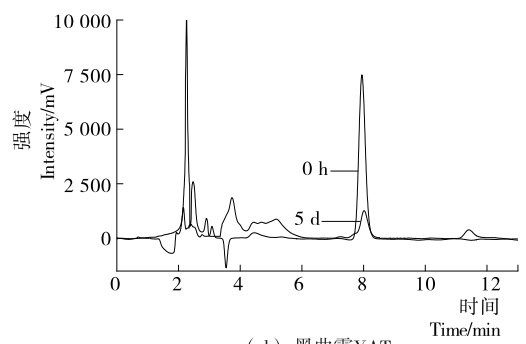
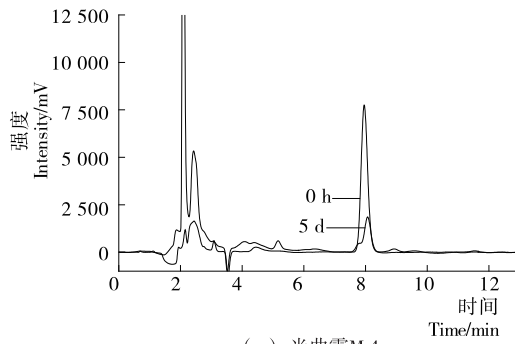
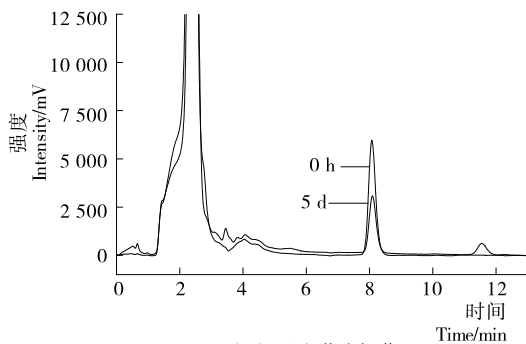
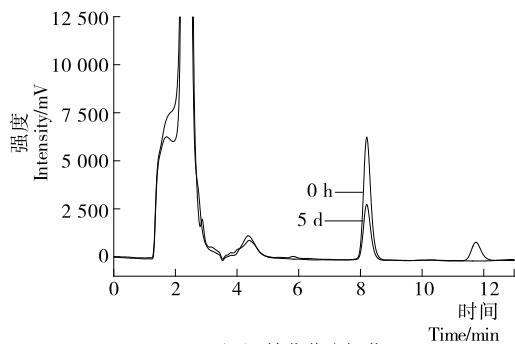


图 4 4 株菌对 DES(25 mg/L)降解色谱图

Figure 4 Degradation chromatograms of DES (25 mg/L) by four strains

3 结论

本试验以含 DES 的微生物降解体系为研究对象,探究在 DES 生物降解的过程中,适用于霉菌和细菌发酵体系中 DES 的提取方法和微生物降解体系中 DES 残留量的 HPLC—UV 检测方法。本研究样品前处理方法是使用甲醇为

提取溶剂,超声辅助提取,提取效率高且方便,省去了牛奶或畜产品中己烯雌酚含量测定^[18, 24]中去除油脂、蛋白,反复提取、浓缩等繁琐的操作;气相色谱法^[25]、气质联用法^[26]测定需要对样品进行衍生化,酶联免疫法^[27]测定需要有己烯雌酚酶标记物及己烯雌酚抗体,且结果容易出现假阳性。本研究所确定色谱条件能将微生物降解体系中残留的 DES 和其

他非目标物质进行有效分离,精密度高,稳定性好。本试验建立的 DES 检测方法简单、快速、准确,针对微生物降解体系中 DES 的检测重复性好,为高效筛选和研究 DES 降解菌提供了方法参考。试验还发现实验室保藏的 4 株菌 5 d 内对 25 mg/L 的 DES 均有不同程度的降解,具有进一步研究的价值,可深入开展关于降解特性、降解机制的研究。

参考文献

- [1] 杜克久,徐晓白. 环境雌激素研究进展[J]. 科学通报, 2000, 45(21): 2 241-2 251.
- [2] Desbrow C, Routledge E J, Brighty G C, et al. Identification of estrogenic chemicals in STW effluent. 1. Chemical fractionation and in vitro biological screening[J]. Environmental Science & Technology, 1998, 32(11): 1 549-1 558.
- [3] Doherty L F, Bromer J G, Zhou Yu-ping, et al. In utero exposure to diethylstilbestrol (DES) or bisphenol-A (BPA) increases EZH2 expression in the mammary gland; an epigenetic mechanism linking endocrine disruptors to breast cancer[J]. Hormones and Cancer, 2010, 1(3): 146-155.
- [4] 李凯年,姜莹. 国外对食品药物残留控制的发展趋势[J]. 世界农业, 2003(5): 44-46.
- [5] 闫论,刘俊含,李戈莹,等. 环境激素己烯雌酚和多氯联苯的健康影响及防控研究进展[J]. 环境与健康杂志, 2011, 28(4): 364-366.
- [6] Colborn T, Vom S F, Soto A M. Developmental effects of endocrine-disrupting chemicals in wildlife and humans[J]. Environ Health Perspect, 1993, 101(5): 378-384.
- [7] 黄芬,叶绍辉,龚振明. 己烯雌酚的研究进展[J]. 中国畜牧兽医, 2007, 34(2): 51-54.
- [8] Zhou Dan-na, Wu Feng, Deng Nan-sheng. Fe(III)-oxalate complexes induced photooxidation of diethylstilbestrol in water[J]. Chemosphere, 2004, 57(4): 283-291.
- [9] Solé M, López De Alda M J, Castillo M, et al. Estrogenicity determination in sewage treatment plants and surface waters from the Catalanian Area (NE Spain)[J]. Environmental Science & Technology, 2000, 34(24): 5 076-5 083.
- [10] 高舒榭,陈庆勋,李凯. 鸡肉中己烯雌酚的调查[J]. 中国动物检疫, 2006, 23(7): 38.
- [11] Chen Te-San, Chen T C, Yeh K C, et al. High estrogen concentrations in receiving river discharge from a concentrated livestock feedlot[J]. Science of The Total Environment, 2010, 408(16): 3 223-3 230.
- [12] Lovle D R. Live wires: direct extracellular electron exchange for bioenergy and the bioremediation of energy-related contamination[J]. Environmental Science & Technology, 2011, 4(12): 4 896-4 906.
- [13] Zhang Wei-wei, Niu Zong-liang, Liao Chun-yang, et al. Isolation and characterization of *Pseudomonas* sp. strain capable of degrading diethylstilbestrol[J]. Applied Microbiology and Biotechnology, 2013, 97(9): 4 095-4 104.
- [14] 徐冉芳,孙敏霞,刘娟,等. 己烯雌酚降解菌株沙雷氏菌的分离鉴定及其降解特性[J]. 环境科学, 2014, 35(8): 3 169-3 174.
- [15] 王瑶,周建华,张鸿雁,等. 食品中己烯雌酚的检测方法[J]. 食品工业科技, 2012, 33(3): 373-375.
- [16] 唐晓妹. DSPE—LC—MS/MS 法测定动物源食品中雌激素及 US-Fenton 法降解水中己烯雌酚的研究[D]. 合肥:安徽农业大学, 2013: 11-18.
- [17] 王丽娜,田晓玲,陈玉艳. GC—MS 法测定生鲜乳中雌激素类药物残留量[J]. 现代畜牧兽医, 2013(10): 38-42.
- [18] 吴红军,成强,臧素娟,等. 高效液相色谱法测定水产品中己烯雌酚的残留量[J]. 安徽农业科学, 2014, 42(14): 4 447-4 448.
- [19] 李勇,刘建伟,袁娇,等. HPLC 柱前衍生法测定发芽糙米中 γ -氨基丁酸的含量[J]. 食品与机械, 2014, 30(4): 119-121.
- [20] 邵金良,刘宏程,梅文泉,等. 基质固相分散萃取—HPLC 分析番茄中 6 种农药残留[J]. 食品与机械, 2013, 29(4): 67-70.
- [21] 赵楠,刘书亮,赖文,等. HPLC-UV 法测定微生物降解体系中 3-苯氧基苯甲酸含量[J]. 食品科学, 2011(14): 181-184.
- [22] 邓维琴,刘书亮,姚开,等. 3-苯氧基苯甲酸降解菌 *Sphingomonas* sp. SC-1 降解苯酚环境条件及其降解中间产物的研究[J]. 微生物学通报, 2015, 42(3): 497-503.
- [23] Liu Shu-liang, Yao Kai, Jia Dong-ying, et al. A pretreatment method for HPLC analysis of cypermethrin in microbial degradation systems[J]. Journal of Chromatographic Science, 2012, 50(6): 469-476.
- [24] 刘虹,谢承恩. 高效液相色谱法测定奶粉中己烯雌酚[J]. 应用预防医学, 2006, 12(6): 374-375.
- [25] 刘韧. 固相萃取毛细管气相色谱法测定水中雌激素[J]. 现代预防医学, 2008, 35(23): 4 657-4 660.
- [26] 宫向红,徐英江,张秀珍,等. 气相色谱—质谱法测定水产品中的己烯雌酚[J]. 食品科学, 2009, 30(2): 168-169.
- [27] 李龙飞,赵晓磊,何金兴. 牛奶中雌激素残留检测方法研究进展[J]. 乳业科学与技术, 2013, 36(3): 24-27.

郑重声明

近期发现不少网络骗子冒充本刊编辑部给作者发稿件录用函,索要审稿费和版面费。现郑重声明:我刊未与其他任何文稿处理中介或机构合作,仅接收本刊唯一在线系统(<http://www.ifoodmm.com>)和邮箱(foodmm@vip.sina.com)投稿,投稿成功后即形成相应的唯一稿件编号,同时投稿人会收到投稿成功的邮件,稿件各处理阶段均有相关邮件提醒,请各位作者在投稿时注意查收邮件或拨打 0731—85258201,有任何疑问请及时与编辑部联系。

《食品与机械》编辑部