

· 研究论文 ·

# 复硝酚钠原药中 3 种有效成分的高效液相色谱分析

杨晶<sup>1</sup>, 曹立冬<sup>1</sup>, 王胜翔<sup>2</sup>, 李凤敏<sup>1</sup>, 黄啟良<sup>\*1</sup>

(1. 农业部作物有害生物综合防治重点实验室, 中国农业科学院 植物保护研究所, 北京 100193;

2. 农业部 农药检定所, 北京 100125)

**摘要:**建立了快速、可同时测定复硝酚钠原药中 5-硝基-2-甲氧基苯酚钠(SD1)、二水合 4-硝基苯酚钠(SD2)和 2-硝基苯酚钠(SD3) 3 种有效成分的高效液相色谱(HPLC)分析方法。通过对流动相和检测波长的优化,得到 3 种成分的最佳色谱体系。采用 Eclipse XDB C<sub>18</sub> 色谱柱(250 mm × 4.6 mm, 5 μm),以 V(甲醇):V(水)=60:40 为流动相进行洗脱,流速 1.0 mL/min,柱温 30 °C,在 335 nm 波长下,3 种有效成分在 7 min 内能达到基线分离。SD1、SD2 和 SD3 的峰纯度因子均大于 999;线性范围分别为 0.6~286.7、0.5~518.5 和 0.5~272.0 mg/L,相关系数 *r* 均大于 0.999;定量限(LOQ)分别为 0.6、0.5 和 0.5 mg/L;其质量分数分别为 15.8%、50.0% 和 33.0%,标准偏差分别为 1.7%、1.0% 和 1.3%。该方法可在较短时间内使在色谱柱上不易保留和分离的复硝酚钠中的 3 种组分同时分离,操作简单、快捷,结果准确、可靠,为复硝酚钠原药的质量控制提供了一种准确可行的分析方法。

**关键词:**复硝酚钠;5-硝基 2 甲氧基苯酚钠;4-硝基苯酚钠;2-硝基苯酚钠;高效液相色谱;定量检测

**DOI:**10.3969/j.issn.1008-7303.2013.04.12

中图分类号:S482.4;O657.71

文献标志码:A

文章编号:1008-7303(2013)04-0439-06

## Analysis of three compounds of sodium nitrophenolate TC by high performance liquid chromatography

YANG Jing<sup>1</sup>, CAO Lidong<sup>1</sup>, WANG Shengxiang<sup>2</sup>, LI Fengmin<sup>1</sup>, HUANG Qiliang<sup>\*1</sup>

(1. Key Laboratory of Integrated Pest Management in Crops, Ministry of Agriculture/  
Institute of Plant Protection, CAAS, Beijing 100193, China;

2. Institute for the Control of Agrochemicals, Ministry of Agriculture, Beijing 100125, China)

**Abstract:** A rapid high performance liquid chromatography (HPLC) method for simultaneous determination of sodium 5-nitroguaiacolate (SD1), sodium 4-nitrophenoxide dihydrate (SD2) and sodium 2-nitrophenoxide (SD3) in compound sodium nitrophenolate technical material (TC) was established. The optimum chromatographic conditions have been set up after examining the mobile phase and the detector wavelength. The determination was carried out on a Eclipse XDB C<sub>18</sub> column (250 mm × 4.6 mm, 5 μm) with mobile phase V(methanol):V(water) = 60:40, detection wavelength 335 nm, column temperature 30 °C and flow rate 1.0 mL/min. Complete separation of the above three compounds was achieved in 7.0 min under the optimized conditions. The developed method was fully validated. The peak purity factor of sodium 5-nitroguaiacolate, sodium 4-nitrophenoxide dihydrate and sodium 2-nitrophenoxide were all above 999 and the linear ranges were 0.6–286.7 mg/L, 0.5–518.5 mg/L and 0.5–272.0 mg/L,

收稿日期:2013-04-18;修回日期:2013-05-27.

作者简介:杨晶,女,硕士,科研助理,主要从事农药质量与原药全组分分析研究, E-mail: yangjing2016@126.com; \*黄啟良,通信作者 (Author for correspondence),男,博士,研究员,主要从事农药剂型加工与质量控制技术研究, E-mail: qlhuang@ippcaas.cn

基金项目:农业公益性行业科研专项(200903033);“十二五”国家科技支撑计划项目(2011BAE06B06-12).

respectively, with their correlation coefficients greater than 0.999. The limit of quantitation (LOQ) were 0.6, 0.5 and 0.5 mg/L. The contents of the three compositions were 15.8%, 50.0% and 33.0%, with their relative standard deviations 1.7%, 1.0% and 1.3%, respectively. The optimized and validated method is efficient, accurate and easy to use, which provides theory basis and reliable method for determination and quality control of compound sodium nitrophenolate TC.

**Key words:** sodium nitrophenolate; sodium 5-nitroguaiacolate; sodium 4-nitrophenoxide; sodium 2-nitrophenoxide; high performance liquid chromatography; quantitative analysis

复硝酚钠 (sodium nitrophenolate) 是 20 世纪 60 年代由日本旭化学工业株式会社最先发现的一种高效植物生长调节剂, 由 5-硝基邻甲氧基苯酚钠、4-硝基苯酚钠和 2-硝基苯酚钠按一定比例混配而成, 易溶于水, 可溶于甲醇、乙醇、丙酮等有机溶剂, 常温下稳定<sup>[1]</sup>。复硝酚钠能促进植物细胞内原生质流动, 调节和控制植物体内核酸、蛋白质及酶的合成, 从而提高植物细胞活力和作物产量<sup>[2]</sup>。由于其具有低毒、无残留、无公害的优势而被联合国粮农组织 (FAO) 指定为绿色食品工程推荐的植物生长调节剂<sup>[3]</sup>。复硝酚钠可激活植物的多重活性, 使植物枝繁叶茂、根系发达, 可显著提高植物抗逆性及抗病虫害能力, 增加产量和改善品质<sup>[4]</sup>。鉴于复硝酚钠在农业生产中的重要地位, 发展高效、快捷的分析方法就显得尤为重要。

目前关于硝基酚类化合物的检测方法主要有: 电位法<sup>[5]</sup>、分光光度法<sup>[6]</sup>、气相色谱法<sup>[7]</sup>、气-质联用法<sup>[8]</sup>、液相色谱法<sup>[9-18]</sup>和液-质联用法<sup>[19-20]</sup>等。其中用电位法和分光光度法, 检测前处理比较繁琐、干扰较多、灵敏度较差; 用气相色谱检测样品需进行酸化或衍生化后才能测定, 操作比较繁琐, 准确率较低; 气-质联用法和液-质联用法的检测成本较高; 相比而言, 高效液相色谱法 (HPLC) 是目前比较常用的方法。然而复硝酚钠的 3 种有效成分均属于硝基酚钠盐, 结构相似, 不适合在正相柱上分离; 其在含水流动相中可解离成钠离子及硝基酚阴离子, 而这些阴离子在反相柱上需要对流动相进行优化后才能有效分离, 并且 3 个化合物的紫外吸收差异很大, 若波长选择不当, 则一些组分不易被检测到或响应值很低。因此, 流动相和检测波长的选择对于复硝酚钠有效成分的定量分析至关重要。目前, 在已报道的采用 HPLC 测定复硝酚钠有效成分含量的方法中, 在流动相和波长的选择上差别很大, 普遍存在分析时间长、所选波长一般只适用于单个组分的分析等问题。本研究采用常用的 C<sub>18</sub> 色谱柱, 通过对流动相和检测波长的优化, 建立了对复硝酚钠原药中 3 种

有效成分同时进行定量分析的 HPLC 新方法。

## 1 材料与方法

### 1.1 仪器、药品与试剂

Agilent 1260 高效液相色谱系统: 包括 G1311C Quat 泵、G1329B 自动进样器、G1316A 柱温箱、G1315D 二极管阵列检测器 (DAD)、Agilent ChemStation 色谱工作站 (美国 Agilent 公司); MilliQ reference 超纯水纯化系统 (美国 Millipore 公司); KQ3200B 型超声波清洗器 (昆山市超声仪器有限公司); FE20K Plus 实验室 pH 计 [梅特勒-托利多仪器 (上海) 有限公司]。

5-硝基-2-甲氧基苯酚钠标准品 (SD1, 纯度 98.18%, 阿达玛斯 (Adamas) 试剂有限公司)、二水合 4-硝基苯酚钠标准品 (SD2, 纯度 98.21%, Adamas 试剂有限公司); 2-硝基苯酚钠标准品 [SD3, 纯度 99.90%, TCI (上海) 发展有限公司]; 复硝酚钠原药 (浙江天丰生物科学有限公司); 甲醇、乙腈为色谱纯 (Fisher Scientific); 水为色谱用超纯水; 其余试剂均为国产分析纯。

### 1.2 标准溶液的配制

分别准确称取经干燥剂干燥至恒重的 5-硝基-2-甲氧基苯酚钠 (SD1)、二水合 4-硝基苯酚钠 (SD2) 和 2-硝基苯酚钠 (SD3) 标准品各 50 mg (精确至 0.000 2 g), 用甲醇超声溶解并定容至 50 mL, 作为标样储备液。用甲醇进行梯度稀释, 配制成系列标样溶液, 用于 3 个化合物标准工作曲线的绘制和定量限 (LOQ) 的测定。

### 1.3 样品溶液的配制

将复硝酚钠原药充分混匀后, 准确称取约 50 mg (精确至 0.000 2 g) 置于 50 mL 容量瓶中, 用甲醇溶解并定容, 配制成质量浓度为 1 000 mg/L 的母液, 作为样品溶液。

### 1.4 HPLC 检测条件

色谱柱: Agilent Eclipse XDB C<sub>18</sub> 柱 (250 mm × 4.6 mm, 5 μm; 超密键合和双封端; pH 2 ~ 9); 柱温

30 ℃; 流速 1.0 mL/min; 进样量 5 μL; 检测波长 335 nm; 流动相: V(甲醇): V(水) = 60:40。

## 2 结果与讨论

### 2.1 流动相的选择

不同流动相模式 (I ~ VI) 及各模式下复硝酚

钠中 3 种有效成分的保留时间见表 1。

以乙腈-甲酸水溶液为流动相 (模式 I), 当乙腈体积分数达 20% 且至少保持 22 min 时才能使复硝酚钠中 SD1 和 SD2 分离开, 此后将乙腈的体积分数调整为 70% 且保持 2 min 后, SD3 可被洗脱出来, 整个样品的分析过程需 35 min 完成, 色谱图见图 1。

表 1 HPLC 分离复硝酚钠中 3 种成分的流动相模式和各模式下的保留时间  
Table 1 Programs of different mobile phases and their retention time for the separation of the three test-compounds by HPLC

模式 Mode	流动相及梯度洗脱程序 Mobile phase & gradient program			保留时间 Retention time/min		
	运行时间 $t_R$ /min	体积分数 $\varphi$ (Mobile phase)/%	体积分数 $\varphi$ (Mobile phase)/%	SD1	SD2	SD3
I	0	20(B)	80(D)	20.751	19.712	27.458
	22	20(B)	80(D)			
	25	70(B)	30(D)			
	30	70(B)	30(D)			
	32	20(B)	80(D)			
	35	20(B)	80(D)			
II	7	60(A)	40(C)	4.066	4.485	6.151
III	7	60(A)	40(D)	4.009	4.432	6.079
IV	7	60(A)	40(E)	4.059	4.495	6.171
V	7	60(A)	40(F)	4.060	4.497	6.175
VI	7	60(A)	40(G)	4.063	4.496	6.181

流动相: A. 甲醇; B. 乙腈; C. 水; D. 甲酸水溶液 (pH 3.0); E. 乙酸水溶液 (pH 3.0); F. 磷酸水溶液 (pH 3.0); G. 磷酸/磷酸二氢钾缓冲溶液 (pH 3.0)。SD1. 5-硝基-2-甲氧基苯酚钠; SD2. 二水合 4-硝基苯酚钠; SD3. 2-硝基苯酚钠。

Mobile phases: A. Methanol; B. Acetonitrile; C. Water; D. Adjusting pH value with formic acid to 3.0; E. Adjusting pH value with acetic acid to 3.0; F. Adjusting pH value with phosphoric acid to 3.0; G. Adjusting pH value with  $H_3PO_4/KH_2PO_4$  to 3.0. SD1. Sodium 5-nitroguaiacolate; SD2. Sodium 4-nitrophenoxide dihydrate; SD3. Sodium 2-nitrophenoxide.

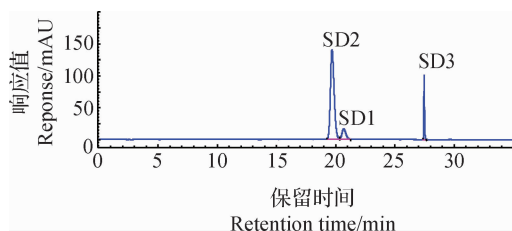


图 1 以乙腈-甲酸水溶液为流动相 (模式 I) 时复硝酚钠样品溶液的色谱图

Fig. 1 Chromatogram of the three test-compounds using acetonitrile-formic acid solution as mobile phase (Mobile phase program I)

当以 V(甲醇): V(水或 pH = 3.0 的酸) = 60:40 为流动相 (模式 II ~ VI) 时, 只需 7 min 即可完成整个分析过程, 且在上述混合溶剂中, 无论用水还是用 pH = 3.0 的不同类型的酸 (甲酸、乙酸、磷酸水溶液和磷酸/磷酸二氢钾缓冲溶液), 3 组分的保留时间均无明显变化。从经济和环保的角度出发, 最

终选择以 V(甲醇): V(水) = 60:40 的混合溶剂为流动相 (模式 II)。色谱图见图 2。

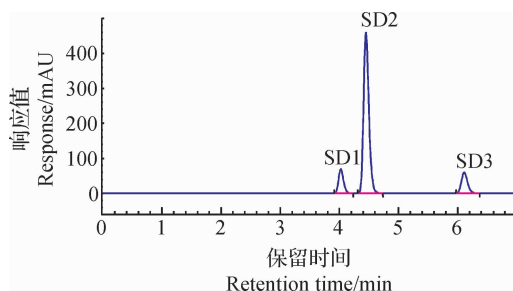


图 2 以甲醇-水为流动相 (模式 II) 时复硝酚钠样品溶液色谱图

Fig. 2 Chromatograms of the three test-compounds using methanol aqueous as mobile phase (Mobile phase program II)

### 2.2 检测波长的选择

通过二极管阵列检测器 (DAD) 的光谱扫描功

能对复硝酚钠中 3 种组分进行光谱扫描,叠加图见图 3。从中可知:SD1 的波峰在 215、240、310 和 345 nm 处;SD2 的波峰在 230 和 315 nm 处;SD3 的波峰在 275 和 350 nm。SD1 和 SD2 的紫外性质比较相近,在色谱上不易分离,交叉处波长是 335 nm。结合文献中曾报道过的波长 210、235、254、280、285、290、302 nm<sup>[9-18]</sup>,对以上 16 组波长进行了优化。

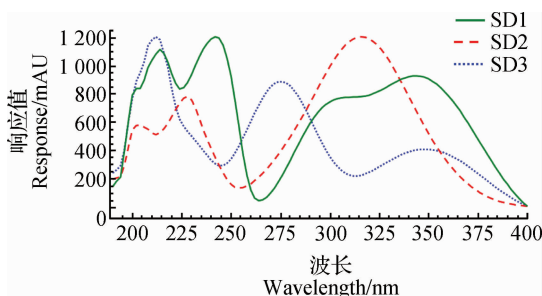


图 3 复硝酚钠 3 种组分的紫外吸收叠加图  
Fig. 3 Ultraviolet absorption of three test-compounds

由于甲醇的截止波长为 210 nm,为避免流动相对样品的干扰,一般选择比流动相波长大 20 nm 以上,由此可排除 210、215 和 230 nm。色谱峰响应值越高对定量分析所带来的误差越小,波长与 3 个化合物峰面积的关系见图 4。

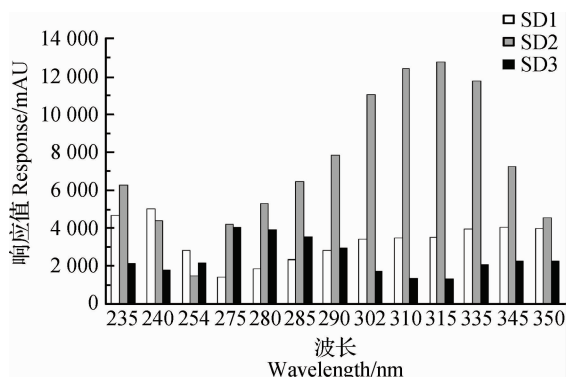


图 4 不同波长下复硝酚钠 3 个组分的峰面积  
Fig. 4 Peak area of three test-compounds at different wavelength

从图 4 可以看出:SD1 在 275、280、285 nm,SD2 在 254 nm,SD3 在 240、302、310 和 315 nm 处色谱响应值比较低;而由图 3 可看出,这几个波长分别在 3 个组分的波谷附近,因此这几个波长也可排除。对剩余的波长(235、290、335、345、350 nm)做进一步分析。按照 1.2 节对对照溶液的配制方法对复硝酚钠中 3 个组分的标准溶液分别进样,确定信噪比

( $S/N$ ) 为 10 的浓度为定量限(LOQ),结果见表 2。

表 2 不同波长下复硝酚钠 3 种组分的定量限

Table 2 The limit of quantitation of three test-compounds

组分 Compound	定量限 Limit of quantitation, LOQ/(mg/L)				
	波长 Wavelength/nm				
	235	290	335	345	350
SD1	1.1	4.5	0.6	0.6	0.6
SD2	4.1	0.5	0.5	0.5	1.0
SD3	17.0	0.5	0.5	0.5	0.5

从表 2 可以看出,290 nm 对于 SD1、235 nm 对于 SD2 和 SD3 来说定量限均比较高,因此排除 235 和 290 nm 2 个波长。从图 4 可以看出:同一浓度的 SD1 和 SD3 在 335、345 和 350 nm 下的峰面积变化不明显,而同一浓度的 SD2 在这 3 个波长下峰面积逐渐降低,比例约等于 4:2:1,可见随着波长的增加 SD2 的响应灵敏度降低,因此最终选择 335 nm 为复硝酚钠含量测定的最佳波长。

### 2.3 特异性

特异性通常是指对被分析物质进行峰纯度检测,以确定在出峰位置是否有其他未分开物质的干扰。利用色谱工作站的色谱峰纯度检测功能可得到色谱峰纯度因子,当纯度因子大于阈值 990.000 时,工作站即认为该位置的峰是纯净的。复硝酚钠原药中 3 个组分的纯度因子分别为 999.258、999.325 和 999.916,均超过阈值,证明 3 个组分分离效果很好,且没有其他物质的干扰。

### 2.4 标准曲线

按照 1.2 节的方法配制标样溶液,按照 1.4 节的条件进行测定。以峰面积( $y$ )对质量浓度( $x$ , mg/L)进行线性回归,得到 SD1、SD2、SD3 各组分的线性回归方程和相关系数( $r$ ),结果见表 3。

表 3 复硝酚钠中 3 种组分的线性关系

Table 3 Linear relation of three test-compounds

组分 Compound	线性范围 Linear range/ (mg/L)	回归方程 Regression equation	相关系数( $r$ ) Correlation coefficient
SD1	0.6 ~ 286.7	$y = 2.7957x + 1.4165$	0.9999
SD2	0.5 ~ 518.5	$y = 5.5731x + 3.0342$	0.9998
SD3	0.5 ~ 272.0	$y = 1.4360x + 1.1234$	0.9998

### 2.5 精密度

按照 1.3 节方法,同一样品连续称取 7 次,在 1.4 节的条件下连续进样,待相邻 2 针的相对响应

值变化小于 1.5% 时,按照标样、试样、试样的顺序进行测定。计算测定结果的相对标准偏差 ( $RSD/\%$ ),与由 Horwitz 公式<sup>[21]</sup> 计算得出的“%  $RSDr$ ”进行比较。结果发现,测定的“ $RSD$ ”均小于“%  $RSDr$ ”,表明该方法是准确可靠的,符合定量分析的要求<sup>[22]</sup>。测定结果见表 4。

表 4 复硝酚钠中 3 种组分的精密度的测定结果 ( $n = 7$ )

Table 4 Precision and the results of three test-compounds ( $n = 7$ )

组分 Compound	平均含量 Average contents/%	标准偏差 SD/%	相对标准 偏差 RSD/%	Horwitz, RSDr/%
SD1	15.8	0.3	1.7	1.8
SD2	50.0	0.5	1.0	1.5
SD3	33.0	0.4	1.3	1.6

### 3 结论

建立了高效、快捷、能同时测定复硝酚钠中 5-硝基-2-甲氧基苯酚钠、二水合 4-硝基苯酚钠和 2-硝基苯酚钠 3 种有效成分的高效液相色谱分析方法。通过考察不同流动相和检测波长下的分离效果及色谱响应情况,确定了最佳的流动相 [ $V(\text{甲醇}):V(\text{水}) = 60:40$ ] 和检测波长 (335 nm)。采用优化的色谱条件能同时分离复硝酚钠中的 3 种成分,且在 7 min 内能达到基线分离,灵敏度显著增强。该分析方法操作简便、灵敏度高、结果准确可靠,同时可节省分析成本和时间。所得结果不仅为复硝酚钠的检测提供了一定的理论依据,同时为其质量控制提供了一种准确可行的方法。

### 参考文献 (Reference):

- [1] 于彩莲,刘波,燕红,等. 复硝酚钠及其组分对大豆种子萌发的影响[J]. 大豆科学,2010,29(3):440-443.  
YU Cailian, LIU Bo, YAN Hong, *et al.* Effects of sodium nitrophenolate and its composition on germination of soybean seed[J]. *Soybean Sci*,2010,29(3):440-443. (in Chinese)
- [2] 郑先福,孙炳剑,郑昊. 复硝酚钠的致突变性研究[J]. 河南科技大学学报:自然科学版,2007,28(4):94-96.  
ZHENG Xianfu, SUN Bingjian, ZHENG Hao. Study on mutagenicity of compound sodium nitrophenolate[J]. *J Henan Univ Sci & Tech:Nal Sci*,2007,28(4):94-96. (in Chinese)
- [3] GÓRNIK K, GRZESIK M. Effect of Asahi SL on China aster 'Aleksandra' seed yield, germination and some metabolic events[J]. *Acta Physiol Plant*,2002,24(4):379-383.
- [4] 邱红波,龙胜,龙友华,等. 3 种植物生长调节剂对玉米生长发

育和产量的调控[J]. 山地农业生物学报,2011,30(4):291-293.

- QIU Hongbo, LONG Sheng, LONG Youhua, *et al.* Effects of three plant growth regulators on maize growth and yield[J]. *J Mount Agric Biol*,2011,30(4):291-293. (in Chinese)
- [5] 曾云龙,唐春然,沈国励,等. 直接电位法同时测定邻硝基苯酚和对硝基苯酚[J]. 化学传感器,1999,19(2):18-22.  
ZENG Yunlong, TANG Chunran, SHEN Guoli, *et al.* Simultaneous determination of *o*-nitrophenol and *p*-nitrophenol by potential[J]. *Chem Sens*,1999,19(2):18-22. (in Chinese)
- [6] SALAH M B, BECKER P, CARABATOS-NÉDELE C. Raman and infrared spectra of sodium *p*-nitrophenolate dehydrate (NPNa),  $[Na(C_6H_4NO_3)] \cdot 2H_2O$ [J]. *Vib Spectrosc*,2001,26(1):23-32.
- [7] LIU H M, LI J B, LIU X, *et al.* A novel multiwalled carbon nanotubes bonded fused-silica fiber for solid phase microextraction-gas chromatographic analysis of phenols in water samples[J]. *Talanta*,2009,78(3):929-935.
- [8] JABER F, SCHUMMER C, CHAMI J A, *et al.* Solid-phase microextraction and gas chromatography-mass spectrometry for analysis of phenols and nitrophenols in rainwater, as their *t*-butyldimethylsilyl derivatives[J]. *Anal Bioanal Chem*,2007,387(7):2527-2535.
- [9] 刘哲,史宏伟,田春祥,等. 1.8% 复硝酚钠水剂的高效液相色谱分析[J]. 农药科学与管理,2005,26(11):5-7.  
LIU Zhe, SHI Hongwei, TIAN Chunxiang, *et al.* Analysis of sodium nitrophenolate 1.8% AS by HPLC[J]. *Pestic Sci Admin*,2005,26(11):5-7. (in Chinese)
- [10] 黎薇薇,林兴发,陈国雄. 2% 复硝酚钾水剂的高效液相色谱分析[J]. 广东化工,2008,35(8):126-129.  
LI Weiwei, LIN Xingfa, CHEN Guoxiong. Analysis of 2% potassium (*o*-nitrophenol/*p*-nitrophenol/2, 4-dinitrophenol) aqueous solution by HPLC[J]. *Guangdong Chem Ind*,2008,35(8):126-129. (in Chinese)
- [11] 王文芝. 复合硝基酚钠盐的高效液相色谱分析[J]. 分析化学,1961,19(8):959-961.  
WANG Wenzhi. Separation of complex nitrophenol sodium salts by reversed phase high performance liquid chromatography[J]. *Ana Chem*,1961,19(8):959-961. (in Chinese)
- [12] 卫晓红,宋吉利,殷钢,等. 高效液相色谱法测定复硝酚钠的三种组分[J]. 理化检验-化学分册,2011,47(3):331-335.  
WEI Xiaohong, SONG Jili, YIN Gang, *et al.* HPLC determination of 3 components of sodium nitrophenolate compound[J]. *Ptca Part B:Chem Anal*,2011,47(3):331-335. (in Chinese)
- [13] 孟磊,郑先福,王永珊,等. 高效液相色谱法测定工业废水中的硝基酚[J]. 光谱实验室,2007,24(5):868-871.  
MENG Lei, ZHENG Xianfu, WANG Yongshan, *et al.* Determination of nitrophenol in industrial waste water by high performance liquid chromatography[J]. *Chin J Spectrosc Lab*,2007,24(5):868-871. (in Chinese)
- [14] 邢丽红,孙伟红,翟毓秀,等. 高效液相色谱法检测饲料中的复硝酚钠[J]. 中国饲料,2013(2):42-44.

- XING Lihong, SUN Weihong, ZHAI Yuxiu, *et al.* Analysis of sodium nitrophenolate in feed by HPLC [J]. *Chin Feed*, 2013 (2):42-44. (in Chinese)
- [15] 王若燕,周晓萍,杜赛,等. HPLC 法同时测定工作场所空气中的苯酚、对硝基苯酚、2,4-二硝基苯酚、2,4,6-三硝基苯酚和间苯二酚[J]. 中国卫生检验杂志,2010,20(6):1362-1363. WANG Ruoyan, ZHOU Xiaoping, DU Sai, *et al.* Simultaneous determination of phenol, *p*-nitrophenol, 2,4-dinitrophenol, 2,4,6-trinitrophenol and *m*-dihydroxybenzene in workplace air by HPLC[J]. *Chin J Health Lab Tech*, 2010, 20(6):1362-1363. (in Chinese)
- [16] DANHEL A, SHIU K K, YOSYPCHUK B, *et al.* The use of silver solid amalgam working electrode for determination of nitrophenols by HPLC with electrochemical detection [J]. *Electroanal*, 2009, 21(3-5):30-308.
- [17] YUA P H, CHANG Z D, MA Y C, *et al.* Separation of *p*-Nitrophenol and *o*-nitrophenol with three-liquid-phase extraction system[J]. *Sep Purif Technol*, 2009, 70(2):199-206.
- [18] SARAJI M, MARZBAN M. Determination of 11 priority pollutant phenols in wastewater using dispersive liquid-liquid microextraction followed by high-performance liquid chromatography-diode-array detection [J]. *Anal Bioanal Chem*, 2010, 396(7):2685-2693.
- [19] BELLOLI R, BOLZACCHINI E, CLERICI L, *et al.* Short communication nitrophenols in air and rainwater[J]. *Environ Eng Sci*, 2006, 23(2):405-415.
- [20] KOHLER M, HEEB N V. Determination of nitrated phenolic compounds in rain by liquid chromatography/atmospheric pressure chemical ionization mass spectrometry[J]. *Anal Chem*, 2003, 75(13):3115-3121.
- [21] 范玉兰,杨玮,王美华,等. Horwitz 方程在比对试验质量评估中的应用[J]. 劳动医学,2001,18(4):209-211. FAN Yulan, YANG Wei, WANG Meihua, *et al.* Application of Horwitz equation to quality assessment of verification testing[J]. *J Labour Med*, 2001, 18(4):209-211. (in Chinese)
- [22] THOMPSON M, ELLISON S L R, WOOD R. The International Harmonized Protocol for the proficiency testing of analytical chemistry laboratories (IUPAC technical report) [J]. *Pure Appl Chem*, 2006, 78(1):145-196.

(责任编辑:金淑惠)

· 书 讯 ·

## 分子微生物学前沿

饶贤才 胡福泉 主编

ISBN:9787030378286 科学出版社 2013年6月1日出版

定价:75.00元 16开 平装 272页



**内容简介:**该书的内容聚焦在细菌分类、命名和鉴定领域的新进展;微生物抗不利环境的分子基础;微生物的基因水平转移与适应性进化;病原体相关分子模式与机体的模式识别;微生物群落与宿主相互作用;细菌的免疫系统、分泌系统、毒力系统、生物钟系统、生物波系统、纳管系统、膜囊泡系统等的构成及其意义;微生物菌群体感应系统和群体行为;病毒工厂和病毒与宿主相互作用的分子基础等方面。

**读者对象:**《分子微生物学前沿》既可作为本科生尤其是研究生的参考书,也可作为微生物学工作者的参考用书。

(科学出版社提供, <http://www.lifescience.com.cn>)