

肉类联合加工厂大气污染及其影响因素

辛峰, 蒋蓉芳, 钱春燕, 李丽, 赵金镬, 宋伟民

摘要: [目的] 监测肉类联合加工厂(简称肉联厂)及其下风向大气污染状况, 为卫生防护距离研究提供依据。[方法] 按照国家现行标准方法现场监测 NH_3 、 H_2S 及恶臭浓度。分别在缓冲区(厂外)、厂区(厂内)以及猪舍(无组织排放污染源)布设采样点。缓冲区设定在距污染源下风向 50、100、200、300、400、500 m 共 6 个点, 厂区 2 个点, 猪舍区 1 个点。[结果] 对 NH_3 、可吸入颗粒物(PM_{10})、 H_2S 及恶臭浓度有明显影响的因素包括采样季节($P<0.05$)、时段($P<0.05$)及监测点与污染源间距离等($P<0.05$)。以上因素中, 距离因素是 NH_3 ($R=0.730$, $P<0.001$)、 H_2S ($R=0.423$, $P<0.001$) 及恶臭浓度 ($R=0.769$, $P<0.001$) 的最主要影响因素, 而湿度是影响 PM_{10} 浓度 ($R=0.466$, $P<0.001$) 的最主要因素。恶臭浓度与 NH_3 ($R=0.706$, $P<0.001$) 以及 H_2S ($R=0.366$, $P<0.001$) 浓度分别成对数函数关系。[结论] NH_3 、 H_2S 、 PM_{10} 及恶臭浓度受采样季节、时段及监测点与污染源间距离等因素影响, 距离因素是其最主要的影响因素。

关键词: 肉联厂; 大气污染; 影响因素; 氨气; 硫化氢; 可吸入颗粒物; 恶臭

Atmospheric Pollution and Its Influencing Factors of A Meat Processing Plant XIN Feng, JIANG Rong-fang, QIAN Chun-yan, LI Li, ZHAO Jin-zhuo, SONG Wei-min (Key Laboratory of Public Health and Safety of Ministry of Education, Department of Environmental Health, School of Public Health, Fudan University, Shanghai 200032, China). Address correspondence to SONG Wei-min, E-mail: wmsong@shmu.edu.cn • The authors declare they have no actual or potential competing financial interests.

Abstract: [Objective] To monitor the air pollution of a meat processing plant and its downwind area, for providing basic data for the setting of buffering zone. [Methods] The concentrations of NH_3 , H_2S and malodor were monitored by current national standard methods. A total of 9 sampling spots were assigned: 6 were located in the buffer zone outside the plant, 50, 100, 200, 300, 400 and 500 m downwind from the pollution source; 2 in the plant area; and 1 at the pigsty as source of fugitive emission. [Results] The factors influencing the concentration of NH_3 , PM_{10} , H_2S and malodor substantially were sampling season ($P<0.05$), sampling time ($P<0.05$) and distance away from the source ($P<0.05$). The predominant factor for NH_3 ($R=0.627$, $P<0.001$), H_2S ($R=0.417$, $P<0.001$) and malodor ($R=0.701$, $P<0.001$) was distance away from the source, and that for PM_{10} ($R=0.466$, $P<0.001$) was air humidity. A remarkable correlation of exponential function was established either between the concentrations of malodor and NH_3 ($R=0.706$, $P<0.001$) or between the concentrations of malodor and H_2S ($R=0.366$, $P<0.001$). [Conclusion] The concentration of NH_3 , H_2S , PM_{10} , and malodor are influenced significantly by sampling season, sampling time and distance away from the source, among which the distance is weighted as the most important one.

Key Words: meat processing plant; atmospheric pollution; influencing factor; NH_3 ; H_2S ; PM_{10} ; malodor

肉类联合加工厂(简称肉联厂)是我国经济社会的重要组成部分,但由于其特殊的生产工艺加工过程会不可避免地对周围环境,特别是居民生活环境造成污染。其中,大气污染为其重要方面。肉联厂大气污染源主要分为有组织排放和无组织排放,肉类屠宰加工过程的恶臭主要来源于屠宰加工车间,待宰圈及污水处理站,主要的恶臭成分是 H_2S 和 NH_3 等^[1],国外研究发现畜禽排放的气态污染物主要包括附有内毒素和微生

物及其产物的颗粒物、恶臭、 CO_2 、 NH_3 、 H_2S 以及众多的挥发性有机化合物(volatile organic compounds, VOCs)^[2-4]。流行病学研究证明暴露于此种大气污染物会使暴露人群出现异常神经行为症状如头痛、眩晕、虚弱疲劳以及听力障碍^[5],诱导暴露的青少年出现喘息或哮喘症状^[6],引起周围居民出现头痛、流鼻涕、喉咙痛、过多的咳嗽、腹泻以及眼睛灼烧感等黏膜刺激症状以及呼吸道刺激症状^[7]。利用情绪状态量表(profile of mood states)和情绪障碍总分(total mood disturbance scores)对恶臭暴露人群情绪测试发现,暴露人群表现出更多的紧张、压抑、易怒、疲劳、缺少活力以及迷茫感等不良情绪反应^[8],且以唾液中分泌型免疫球蛋白 A 水平降低为标志的免疫抑制反应^[9]。目前国内针对肉联厂内及其下风向大气污染方面的相关研究尚少,因此本课题拟以安徽某肉联厂为研究对象,现场监测其

[基金项目] 上海市自然科学基金项目(编号: 09ZR1402400)

[作者简介] 辛峰(1984—)男,硕士生;研究方向:环境毒理学;E-mail: 09211020021@fudan.edu.cn

[通信作者] 宋伟民教授, E-mail: wmsong@shmu.edu.cn

[作者单位] 复旦大学公共卫生学院环境卫生学教研室,公共卫生安全教育部重点实验室,上海 200032

大气环境质量状况,为进一步的卫生防护距离研究提供基础;并分析部分污染因子浓度水平的影响因素,为相关部门制定改善措施及相关政策提供依据。

1 材料与方法

1.1 研究对象

肉联厂位于安徽省,其地理坐标为E115.85, N32.92,占地面积 $26\times 10^4\text{m}^2$,厂房面积 $22.1\times 10^4\text{m}^2$,日屠宰头数为6500头左右,年产量>1万t。

1.2 监测指标及样品采集

本研究采样时间为3个阶段:2010年5月25—27日(代表春季);2010年8月24—26日(代表夏季);2010年11月25—27日(代表秋季)。每阶段监测3d,每天分为3个时段(即上午8:00开始;中午11:00开始;下午15:00开始),每次采样40min,大气采样器流速1.5L/min。大气采样监测点分别在缓冲区(厂区外)、厂区以及猪舍区(无组织排放污染源)布设采样点。缓冲区设定在污染源下风向50、100、200、300、400、500m共6个点。厂区为2个点(均在厂内,分别为厂A、厂B)。猪舍区1个点。在污染源上风向100m处另设1对照采样点,本次课题监测的污染因子为NH₃, H₂S, 可吸入颗粒物(PM₁₀)以及恶臭。

1.3 仪器与设备

NH₃: 购自国药集团化学试剂有限公司,检测步骤按照《环境空气和废气 氨的测定 纳氏试剂分光光度法》(HJ 533—2009)^[10],检出限为0.5μg/10mL,当吸收液体积为10mL,采气45L,氨的检出限为0.01mg/m³。H₂S: 检测依据《居住区大气硫化氢卫生检验标准方法 亚甲蓝分光光度法》(GB 11742—89)^[11],检出限为0.15μg/10mL,采样体积为30L时,最低检出浓度为0.005mg/m³。恶臭:嗅觉试验袋与标准液均购自天津市禧来科技开发有限公司,嗅觉试验袋的材质用无味的聚酯制成,容积3000mL。每3个嗅觉袋为1组,具体步骤按照《空气质量 恶臭的测定 三点比较式臭袋法》(GB/T 14675—93)^[12]。PM₁₀: 检测采用TSI SIDEPAC™ AM510个体粉尘仪(美国Mircon Electronics公司,检出限为0.001mg/m³)。温湿度:检测采用TSI-7454便携式直读仪(美国Mircon Electronics公司,温度的最低分辨率0.1℃,湿度的最低分辨率0.1%);热式风速仪KA22(日本加

野Kanomax公司,范围0~4.99m/s,分辨率0.01m/s),产自北京金泰科仪检测仪器有限公司;大气采样器为CS-IIIIB型,产于上海宏宇环保应用研究所。

1.4 统计学分析

采用SPSS 19.0统计软件对实验数据进行分析,各指标浓度用平均浓度及标准差($\bar{x}\pm s$)表示,重复测量因素用重复测量资料的多元方差分析研究其影响程度,采用曲线拟合分析各污染物与影响因素的相关及回归关系。检验水准 $\alpha=0.05$ 。

2 结果

2.1 气象因素监测结果

不同采样季节的温度及湿度差异有统计学意义,经LSD两两比较检验,温度: T_{春季}>T_{夏季}>T_{秋季},且均P<0.05;湿度: W_{夏季}>W_{春季}>W_{秋季},且均P<0.05;不同采样季节的风速差异没有统计学意义,见表1。

表1 采样现场气象因素结果统计表($\bar{x}\pm s$)

Table 1 Meteorological factors at sampling sites				
采样季节 Sampling season	温度(℃) Temperature n=457	湿度(%) Humidity n=457	风速(m/s) Wind speed n=27	风向 Wind direction n=27
春季(Spring)	28.25±3.19	58.61±9.92	1.24±0.79	东南(Southeast)
夏季(Summer)	23.83±5.00	90.20±7.68	1.62±1.23	西北(Northwest)
秋季(Autumn)	21.24±3.69	43.42±12.45	1.09±1.01	东南(Southeast)
F	65.825	998.319	1.025	—
P	<0.001	<0.001	0.368	—

2.2 污染因子现场监测结果

在春季以及秋季阶段,200m以及与污染源距离更远的监测点NH₃浓度低于其居住区一次最大容许浓度限值(0.2mg/m³),而在夏季的50m处即已低于此标准,见表2。在春季以及夏季,100m已低于居住区H₂S一次最大浓度限值(0.01mg/m³),秋季在200m低于此标准,见表3。春季以及秋季的PM₁₀浓度普遍超出其居住区日平均浓度限值(0.15mg/m³),在夏季300m之后低于此标准,见表4。春季以及秋季猪舍内的恶臭浓度较夏季高,100m之后各监测点稀释度差别较小,见表5。

表2 NH₃浓度现场监测结果($\bar{x}\pm s$, mg/m³)

Table 2 NH ₃ concentration at sampling sites										
采样季节 Sampling season	猪舍 Pigsty	厂A Plant A	厂B Plant B	对照 Control	50m	100m	200m	300m	400m	500m
春季(Spring)	1.66±0.49	0.18±0.09	0.30±0.38	0.11±0.13	0.76±1.34	0.21±0.06	0.15±0.07	0.17±0.24	0.13±0.13	0.10±0.08
夏季(Summer)	1.77±0.47	0.17±0.05	0.17±0.05	0.14±0.04	0.53±0.17	0.31±0.06	0.19±0.04	0.14±0.04	0.12±0.03	0.08±0.03
秋季(Autumn)	1.09±0.23	0.29±0.11	0.17±0.02	0.14±0.02	0.38±0.24	0.29±0.14	0.19±0.08	0.18±0.12	0.18±0.06	0.14±0.06

表3 H₂S现场监测结果($\bar{x}\pm s$, mg/m³)

Table 3 H ₂ S concentration at sampling sites										
采样季节 Sampling season	猪舍 Pigsty	厂A Plant A	厂B Plant B	对照 Control	50m	100m	200m	300m	400m	500m
春季(Spring)	0.018±0.032	0.008±0.009	0.009±0.014	0.006±0.008	0.011±0.030	0.010±0.015	0.008±0.015	0.008±0.015	0.008±0.014	0.006±0.009
夏季(Summer)	0.022±0.003	0.006±0.001	0.006±0.001	0.005±0.002	0.011±0.003	0.010±0.003	0.009±0.002	0.008±0.002	0.007±0.003	0.006±0.002
秋季(Autumn)	0.019±0.005	0.017±0.005	0.016±0.004	0.008±0.001	0.021±0.002	0.016±0.004	0.008±0.001	0.008±0.001	0.007±0.001	0.006±0.001

表 4 PM₁₀ 现场监测结果 ($\bar{x} \pm s$, mg/m³)
Table 4 PM₁₀ concentration at sampling sites

采样季节 Sampling season	猪舍 Pigsty	厂 A Plant A	厂 B Plant B	对照 Control	50m	100m	200m	300m	400m	500m
春季 (Spring)	0.229 ± 0.067	0.194 ± 0.085	0.199 ± 0.097	0.122 ± 0.096	0.216 ± 0.082	0.210 ± 0.081	0.184 ± 0.068	0.144 ± 0.053	0.194 ± 0.064	0.175 ± 0.043
夏季 (Summer)	0.136 ± 0.047	0.052 ± 0.018	0.051 ± 0.016	0.053 ± 0.030	0.119 ± 0.030	0.119 ± 0.025	0.103 ± 0.009	0.099 ± 0.012	0.066 ± 0.031	0.062 ± 0.027
秋季 (Autumn)	0.327 ± 0.169	0.285 ± 0.136	0.286 ± 0.140	0.239 ± 0.116	0.317 ± 0.111	0.295 ± 0.114	0.263 ± 0.126	0.248 ± 0.113	0.222 ± 0.114	0.203 ± 0.110

表 5 恶臭现场监测结果 ($\bar{x} \pm s$)
Table 5 Malodor concentration at sampling sites

采样季节 Sampling season	猪舍 Pigsty	厂 A Plant A	厂 B Plant B	对照 Control	50m 50 m site	100m	200m	300m	400m	500m
春季 (Spring)	71 ± 6.48	20 ± 9.80	20 ± 10.78	10 ± 0.00*	40 ± 9.49	10 ± 0.80	10 ± 0.00	10 ± 0.00*	10 ± 0.00*	10 ± 0.00*
夏季 (Summer)	55 ± 0.00	15 ± 2.47	15 ± 1.23	10 ± 0.00*	31 ± 3.74	11 ± 1.23	10 ± 0.00	10 ± 0.00*	10 ± 0.00*	10 ± 0.00*
秋季 (Autumn)	67 ± 9.17	13 ± 1.73	15 ± 2.73	10 ± 0.12	28 ± 7.65	11 ± 1.18	11 ± 1.34	10 ± 0.55	10 ± 0.11	10 ± 0.10

[注]*: 与三比较式嗅袋法检测限相比较 (Compared with the limit of detection of air quality-determination of odor-triangle odor bag method)。

2.3 各监测指标重复测量设计多元方差分析

对 NH₃、H₂S 及恶臭浓度有明显影响的因素包括采样季节、时段及监测点与污染源间距离 ($P<0.05$)；对 PM₁₀ 浓度有明显

影响的因素有采样季节和时段 ($P<0.05$)，距离因素无明显影响 ($P>0.05$)。由于样本量不满足重复测量方差分析交互作用的要求，故只分析其单项影响因素，见表 6。

表 6 主要污染因子影响因素重复测量多元方差分析结果统计表 ($n=270$)
Table 6 Results of repeated measurement model of variance analysis for the contributory factors on the concentration of major pollutants

影响因素 (Contributory factors)	NH ₃		H ₂ S		PM ₁₀		恶臭 (Malodor)	
	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
季节 (Season)	15.863	0.001	31.634	<0.001	261.97	<0.001	10.780	0.004
时段 (Time)	29.206	<0.001	19.852	<0.001	7.059	0.014	4.812	0.038
距离 (Distance)	49.258	<0.001	3.251	0.040	2.256	0.111	1223.79	<0.001

[注]重复测量资料的多元方差分析以 Pillai's Trace 最稳健，故以 Pillai's Trace 为其结论 (Pillai's Trace shows the best robustness for repeated measurement data analysis of variance, so the conclusion are drawn according to the result of Pillai's Trace.)。

2.4 污染因子主要影响因素回归分析

回归分析显示：距离因素是影响 NH₃ ($R=0.730$, $P<0.001$)、H₂S ($R=0.423$, $P<0.001$) 及恶臭浓度 ($R=0.769$, $P<0.001$) 的最主要因素，而湿度是影响 PM₁₀ 浓度 ($R=0.466$, $P<0.001$) 的最主要因素。由于重复测量方差分析结果表明距离因素对 PM₁₀

浓度无明显影响，故未对 PM₁₀ 浓度与距离因素进行回归分析。恶臭浓度与 NH₃ ($R=0.706$, $P<0.001$) 以及 H₂S ($R=0.366$, $P<0.001$) 浓度分别成对数函数关系，表明 NH₃ 以及 H₂S 是肉联厂待宰圈无组织污染源排放的恶臭最主要成分，见表 7。

表 7 污染因子及其影响因素间回归关系
Table 7 Regression between air pollutants and its contributory factors

应变量 (Dependent variable)	自变量 (Independent variable)	回归方程 (Regression equation)	相关系数 (<i>R</i>) (Correlation coefficient)	<i>P</i>
NH ₃	距离 (NH ₃ , Distance)	$\hat{Y}=1.036-0.465LnD$	0.730	<0.001
	湿度 (NH ₃ , Humidity)	—	—	0.779
H ₂ S	距离 (H ₂ S, Distance)	$\hat{Y}=0.021-0.007LnD$	0.423	<0.001
	湿度 (H ₂ S, Humidity)	$Ln\hat{Y}=Ln0.01-0.005H$	0.130	0.048
恶臭	距离 (Malodor, Distance)	$\hat{Y}=47.678-18.937LnD$	0.769	<0.001
	湿度 (Malodor, Humidity)	—	—	0.528
	NH ₃ (Malodor, NH ₃)	$\hat{Y}=40.461+13.546LnC_{NH_3}$	0.706	<0.001
	H ₂ S (Malodor, H ₂ S)	$\hat{Y}=50.488+6.736LnC_{H_2S}$	0.366	<0.001
PM ₁₀	湿度 (PM ₁₀ , Humidity)	$Ln\hat{Y}=ln0.419-0.017H$	0.466	<0.001

[注]*D*: 监测点与污染源间距离 (m); *H*: 湿度 (%); *C*_{NH₃}: NH₃ 浓度 (mg/m³); *C*_{H₂S}: H₂S 浓度 (mg/m³)(*D*: distance away from the source of fugitive pollution emission; *H*: humidity of atmosphere; *C*_{NH₃}: concentration of ammonia, mg/m³; *C*_{H₂S}: concentration of hydrogen sulfide, mg/m³.)。

3 讨论

根据《大气污染物无组织排放监测技术导则》(HJ/T 55—2000)^[13]中对无组织排放采样设点的要求与现场大气稳定度，

经计算污染物最大落地浓度位置，确定本次监测下风向最远为 500 m。为保证检测结果的稳定性重复性及可靠性，在每次监测前对 AM510 个体采样器进行调零校正，监测结束后对切

割头进行更换, 清洁。在每季度监测前进行为期 1d (3 个时段) 的预实验, 进行预分析。本次恶臭监测方法 (三点比较式臭袋法) 为现行国家恶臭测定标准方法, 所有嗅辨员 (6 名) 均经过嗅觉检验, 并按以往研究的方法选定备用嗅辨员^[14], 以备突发情况。根据以往研究中提到的问题尽量减少因嗅辨员年龄、性别、嗅辨室温、嗅辨方法、嗅觉疲劳、监测环境恶臭本底值等因素对恶臭浓度的影响^[15-18]。本研究采用重复测量的方差分析方法分析各污染物浓度的影响因素。据相关文献, 当重复测量变量服从球形假设时, 以一元方差分析结果为最终结论, 不服从球形假设, 以多元分析结果或者一元分析结果中的校正部分, 如不一致, 则以多元方差分析结果为最终结论^[19]。根据重复测量方差分析结果知对监测指标浓度有显著影响的影响因素, 但尚无法了解哪些影响因素对因变量的变异有主要贡献, 故在检测出有显著影响的影响因素后再分析各污染物与其影响因素之间的回归关系。

有研究对宁夏一体化养猪场肉联厂监测, 表明猪舍、厂区及缓冲区 NH_3 浓度分别为 1.236、0.063、0.034 mg/m^3 ^[20], 介于本次监测猪舍内 NH_3 浓度间, 但低于本次监测厂区及缓冲区 NH_3 浓度。对于 NH_3 影响因素而言, 季节, 时段对 NH_3 浓度影响均显著, 与文献^[21]结论基本一致, 且有研究表明养猪厂下风向 NH_3 浓度为夏季 > 春季 > 秋季 > 冬季^[22]。对于 H_2S 浓度, 与 NH_3 不同的是, 文献^[20]监测 H_2S 浓度猪舍, 厂区及缓冲区分别为 0.004、0.002、0.003 mg/m^3 , 均低于本次监测值。本次监测发现 PM_{10} 浓度在春季以及秋季普遍超出其居住区日平均浓度限值 (0.15 mg/m^3), 在夏季 300 m 之后低于此标准。原因可能是春季以及秋季采样期间天气干燥湿度低且整个采样地区大气环境质量不高, 而夏季采样期间值阴雨天气, 大气湿度大。通过与文献^[20]比较, 文献检测值猪舍内 PM_{10} 浓度高于本次检测值, 为 0.783 mg/m^3 , 厂区 PM_{10} 浓度介于三季节之间, 为 0.121 mg/m^3 , 缓冲区相当于本次监测 300 m 浓度水平, 为 0.099 mg/m^3 。对于恶臭浓度, 由于我国大陆尚无居住区恶臭浓度限值, 故以三点比较式臭袋法检测限 (该方法规定, 在恶臭样品稀释过程中, 如果第一级 10 倍稀释样品平均正解率 ≤ 0.58 , 不继续对样品稀释嗅辨, 其样品臭气浓度以 “< 10” 或 “= 10” 表示。) 相比较, 春季以及夏季的 200 m 以及距污染源更远的监测点, 恶臭浓度均为 10。而对于恶臭监测方法, 部分研究建议用动态稀释嗅觉计法替代现行方法以提高检测的准确性^[23], 有待得进一步研究。本次监测结果显示, 季节、时段及距离因素对猪舍内及下风向恶臭浓度影响均有显著差异, 与 GUO 等^[24]结论基本一致。ZHU 等^[25]认为猪舍下午恶臭浓度较高, 可能原因为监测对象通风方式 (机械通风与自然通风) 及恶臭扩散方式 (封闭式与开放式) 不同所致。本次研究结果显示, 距离因素在众多影响恶臭浓度的因素中最为重要, 其决定系数为 0.591, 与以往其他学者的研究基本一致^[26-27]。本次监测夏季 PM_{10} 浓度低于其日均浓度限值, 春季、秋季大部分监测点 PM_{10} 浓度均超标, 可能与监测采样时的气象状况湿度有关, 同时与回归分析结果认为湿度在诸多影响 PM_{10} 浓度的因素中决定系数最大且差异显著的结论基本一致, 重复测量方差分析结果显示距离因素对 PM_{10} 浓度影响不显著。此外, 本研究还分别

分析了恶臭与 NH_3 以及与 H_2S 之间的对数曲线关系, 与 SUN^[28] 及 ZHANG^[29] 的研究结论基本一致。

综上所述, 重复测量方差分析以及回归分析的结果均显示, 在以上各指标浓度的影响因素中距离因素最为重要 (PM_{10} 除外), 这也提示设置合理的卫生防护距离对减小肉联厂对其周围, 特别是存在居住区, 学校等敏感区域的大气污染有重要意义。

· 作者声明本文无实际或潜在的利益冲突。

参考文献:

- [1] 陈金宇. 肉类屠宰加工行业对环境的主要影响及污染防治对策[J]. 气象与环境学报, 2006, 22(5): 59-61.
- [2] Von ESSEN SG, AUVERMANN BW. Health effects from breathing air near CAFOs for feeder cattle or hogs[J]. J Agromedicine, 2005, 10(4): 55-64.
- [3] CAI L, KOZIEL JA, LO YC, et al. Characterization of volatile organic compounds and odorants associated with swine barn particulate matter using solid-phase microextraction and gas chromatography-mass spectrometry-olfactometry[J]. J Chromatogr A, 2006, 1102(1/2): 60-72.
- [4] HEEDERIK D, SIGSGAARD T, THORNE PS, et al. Health effects of airborne exposures from concentrated animal feeding operations[J]. Environ Health Perspect, 2007, 115(2): 298-302.
- [5] BULLERS S. Environmental stressors, perceived control, and health: the case of residents near large-scale hog farms in eastern North Carolina[J]. Hum Eco, 2005, 33(1): 1-16.
- [6] MIRABELLI MC, WING S, MARSHALL SW, et al. Asthma symptoms among adolescents who attend public schools that are located near confined swine feeding operations[J]. Pediatrics, 2006, 118(1): e66-75.
- [7] WING S, WOLF S. Intensive livestock operations, health, and quality of life among eastern North Carolina residents[J]. Environ Health Perspect, 2000, 108(3): 233-238.
- [8] SCHIFFMAN SS, MILLER EA, SUGGS MS, et al. The effect of environmental odors emanating from commercial swine operations on the mood of nearby residents[J]. Brain Res Bull, 1995, 37(4): 369-375.
- [9] AVERY RC, WING S, MARSHALL SW, et al. Odor from industrial hog farming operations and mucosal immune function in neighbors[J]. Arch Environ Health, 2004, 59(2): 101-108.
- [10] 中华人民共和国国家环境保护部. HJ 533—2009 环境空气和废气氨的测定 纳氏试剂分光光度法[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2009.
- [11] 中华人民共和国卫生部. GB 11742—1989 居住区大气中硫化氢卫生检验标准方法 亚甲基蓝分光光度法[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 1989.
- [12] 中华人民共和国国家环境保护总局. GB/T 14675—1993 空气质量 恶臭的测定 三点比较式臭袋法[S]. 北京: 中国标准出版社, 1993.
- [13] 中华人民共和国国家环境保护总局. HJ/T 55—2000 大气污染无组

- 织排放监测技术导则[S].北京:中国环境科学出版社,2000.
- [14]邱祖楠,李倩.三点比较式臭袋法嗅辨员的优化选择[J].环境监控与预警,2011,3(2):25-26.
- [15]罗皓杰,李森,方路乡.恶臭(三点比较式臭袋法)测定中若干问题探讨[J].中国环境监测,2006,22(6):35-36.
- [16]王同健,党秀芳,高翔.利用三点比较式臭袋法进行恶臭监测时有关问题的探讨[J].中国环境监测,2009,25(3):46-48.
- [17]肖琦,庞晓明,范辉.影响三点比较式臭袋法测定臭气浓度的因素及其解决途径[J].广西科学院学报,2006,22(Z1):97-498/501.
- [18]张晓伟,汤滔.恶臭监测分析中若干问题的探讨[J].环境科学与管理,2010,35(12):165-167/189.
- [19]张文彤.SPSS统计分析高级教程[M].北京:高等教育出版社,2004:63-64.
- [20]刘治国,杨俊,陈天云.宁夏“灵农牌”鲜猪肉产地农业环境质量现状评价[J].宁夏农林科技,2004(15):15-18.
- [21]SUN G, GUO H, PETERSON J, et al. Diurnal odor, ammonia, hydrogen sulfide, and carbon dioxide emission profiles of confined swine grower/finisher rooms[J]. J Air Waste Manag Assoc, 2008, 58(11):1434-1448.
- [22]WILSON S M, SERRE M L. Use of passive samplers to measure atmospheric ammonia levels in a high-density industrial hog farm area of eastern North Carolina[J]. Atmos Environ, 2007, 41(28):6074-6086.
- [23]许建光,刘甜恬.三点比较式臭袋法与动态稀释嗅觉计测定臭气浓度的比较[J].现代测量和实验室管理,2010,18(5):6-8.
- [24]GUO H, DEHOD W, AGNEW J, et al. Annual odor emission rate from different types of swine production buildings[J]. Trans ASABE, 2006, 49(2):517-525.
- [25]ZHU J, JACOBSON L, SCHMIDT D, et al. Daily variations in odor and gas emissions from animal facilities[J]. Appl Eng Agric, 2000, 16(2):153-158.
- [26]PAN L, YANG S X, DEBRUYN J. Measurement and analysis of downwind odors from poultry and livestock farms: Proceedings of the Seventh International Symposium[C]. Beijing[s.n.], 2005:365-373.
- [27]魏波,李震宇,罗皓杰,等.规模猪场臭气排放研究//纪念中国农业工程学会成立三十周年暨中国农业工程学会2009年学术年会[C].太原:中国农业工程学会,2009:1-4.
- [28]SUN G. Monitoring and modeling of diurnal and seasonal odor and gas emissions from different types of swine rooms[D]. Saskatoon: Univ of Saskatchewan, 2005.
- [29]ZHANG Q, FEDDES J J R, EDEOGU I K, et al. Correlation between odor intensity assessed by human assessors and odor concentration measured with olfactometers[J]. Can Biosyst Eng, 2002, 44(60):27-32.

(收稿日期:2012-03-09)

(英文编审:薛寿征;编辑:郭薇薇;校对:王晓宇)

(上接第279页)

构调节等。本实验研究仅从转录表达水平和酶学水平初步探讨了Cu/Zn-SOD和GSH-Px1在燃煤型砷中毒肝损伤中的作用,其深层次的作用机制尚有待于大量深入的研究工作予以揭示。

·作者声明本文无实际或潜在的利益冲突。

参考文献:

- [1]罗鹏,张爱华,洪峰,等.燃煤污染型砷中毒患者体内氧化与抗氧化系统损伤的观察[J].中国地方病学杂志,2000,19(1):10-12.
- [2]ZOU X F, JI Y T, GAO G, et al. A novel selenium and copper-containing peptide with both superoxide dismutase and glutathione peroxidase activities[J]. J Microbiol Biotechnol, 2010, 20(1):88-93.
- [3]中华人民共和国卫生部.WST 211—2001 地方性砷中毒诊断标准[S].北京:中国标准出版社,2001.
- [4]中华人民共和国卫生部.GBZ 59—2010 职业性中毒性肝病诊断标准[S].北京:人民卫生出版社,2010.
- [5]潘雪莉,张爱华,黄晓欣.HDAC1在燃煤型砷中毒患者血液及皮肤组织中的转录及表达[J].环境与职业医学,2010,27(5):270-274.
- [6]德伟,张一鸣.生物化学与分子生物学[M].江苏:东南大学出版社,2007:223-225.
- [7]RODRÍGUEZ-FUENTES G, COBURN C, CURRÁS-COLLAZO M, et al. Effect of hyperosmotic conditions on flavin-containing monooxygenase activity, protein and mRNA expression in rat kidney[J]. Toxicol Lett, 2009, 187(2):115-118.
- [8]DAI R L, ZHU S Y, XIA Y P, et al. Sonic hedgehog protects cortical neurons against oxidative stress[J]. Neurochem Res, 2011, 36(1):67-75.
- [9]LIU J, XIE Y, DUCHARME D M, et al. Global gene expression associated with hepatocarcinogenesis in adult male mice induced by *in utero* arsenic exposure[J]. Environ Health Perspect, 2006, 114(3):404-411.
- [10]SRIVASTAVA S, CHANDRASEKAR B, GU Y, et al. Downregulation of CuZn-superoxide dismutase contributes to beta-adrenergic receptor-mediated oxidative stress in the heart[J]. Cardiovasc Res, 2007, 74(3):445-455.
- [11]宋瑞霞,熊咏民,邹秀珍,等.克山病患者GPX1-mRNA及凋亡相关信号分子的表达[J].中国地方病学杂志,2010,29(4):359-361.

(收稿日期:2011-09-03)

(英文编审:薛寿征;编辑:郭薇薇;校对:王晓宇)