

养殖场来源的环境颗粒物特征分析

李佳明¹, 付莹莹², 王中一², 郭振东², 赵宗正², 张春茂², 刘静波³, 钱军², 张加力^{1*}, 刘林娜^{2*}

(1. 吉林农业大学动物科学技术学院, 吉林长春 130118; 2. 军事医学科学院军事兽医研究所, 吉林长春 130122; 3. 西南科技大学生命与工程学院, 四川绵阳 621010)

摘要 养殖场是环境颗粒物(PM)的重要来源。高浓度PM对环境危害严重,影响人类和动物的健康。分析了养殖场颗粒物(PM)的来源、浓度、粒径大小及分布、化学组成,并提出了养殖场PM的减排措施。

关键词 养殖场; 颗粒物; 颗粒物特征分析

中图分类号 S851.2 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2018)07-0080-03

Analysis of the Characteristics of Environmental Particulate Matter from Farm Source

LI Jia-ming¹, FU Ying-ying², WANG Zhong-yi² et al (1. College of Animal Science and Technology, Jilin Agricultural University, Changchun, Jilin 130118; 2. Military Institute of Veterinary Science, Academy of Military Medical Science, Changchun, Jilin 130122)

Abstract Farms were an important source of environmental particulate matter (PM). High concentration of PM was harmful to the environment, affecting people and animal health. The source, concentration, size and distribution, chemical composition of PM in farms were analyzed, and some measures for emission reduction were proposed.

Key words Farms; Particulate matter; Characteristic analysis of PM

颗粒物(PM)是指悬浮在气体介质中的固体或液体颗粒,也适用于对气溶胶的定义,在大气科学中更为常用^[1]。传统观点认为,来源于养殖场的PM是影响人类健康和动物生产性能的主要室内污染源^[2]。吸入的粒子可以进入呼吸道深部,危害人类和动物的呼吸系统,增加养殖户及周边人群患慢性咳嗽/痰、慢性支气管炎、过敏反应、哮喘等疾病的发生率^[3]。研究表明,PM不仅影响畜禽舍内空气质量,对外部环境同样有影响。通过排风系统,养殖场PM外排到环境中,对环境空气质量造成很大影响^[4]。尽管目前养殖场来源的PM排放量仅占PM₁₀总量的8%、PM_{2.5}的4%,但根据现行的政策来看,在其他来源的PM排放量受控而占比下降的情况下,未来农业,尤其畜牧业将是PM的重要来源^[5]。在荷兰,农业排放对PM的贡献率已高达25%^[6]。在养殖场生产中,集约化家禽和猪舍又是主要的PM排放源,约占欧洲农业总排放量的50%(家禽)和30%(猪)。笔者分析了养殖场颗粒物(PM)来源、浓度、粒径大小及分布、化学组成,并提出了养殖场PM的减排措施。

1 养殖场PM来源分析

来源分析是研究PM属性的关键部分,但在畜牧业生产系统中颗粒物根源调查数据相对缺乏。目前对养殖舍内PM来源的研究主要集中在发生源上,其中猪和家禽舍中主要的PM来源已经得到确认。猪舍中,PM主要来源于饲料^[7],且更倾向于粗颗粒^[8]。粪便也是猪舍内PM的重要来源,且大多数属于可吸收粒子,对肺组织有更强的危害作用^[8]。对猪舍内PM粒径分化源分析表明,5%~10%的总颗粒物是皮毛颗粒物,占7~9 μm粒径范围内总粒子数的50%^[9]。

Aarnink等^[10]认为饲料和皮毛是猪舍PM的最主要来源,而Nilsson^[11]认为动物本身也是重要来源之一。

在禽舍中,羽毛、尿液中的矿物质和垃圾是PM的主要来源^[10]。Qi等^[12]认为皮肤、羽毛、粪便、尿液、饲料和垃圾是畜禽舍内PM的重要来源。在育肥猪舍,以秸秆作为垫料比混凝土地面的猪舍PM浓度增加了1倍。育肥期结束时,秸秆垫料变得更加“多尘”,也更容易分解,从而产生更多的颗粒物^[13]。此外,垃圾的类型和含水量也会影响PM浓度^[14]。在兔舍中,毛皮、粪便、尿液、饲料、垫料和消毒剂是PM的主要来源^[15]。

由于畜禽舍中PM形态相似、化学成分复杂、有机物质含量高,所以不能像普通空气颗粒物源分析那样通过无机元素进行区分和归类^[16-17]。畜禽舍PM来源(主要是饲料和粪便)中绝大多数有机颗粒形态非常相似,所以区分是饲料颗粒物还是粪便颗粒物,或者是未消化的饲料颗粒物非常困难。Honey等^[9]报道,在许多研究中都高估了饲料颗粒物对PM的贡献率,因为未能有效区分饲料和粪便来源颗粒物。Donham等^[8]认为使用染色剂可能会对这种区分有帮助,可以用碘来染色饲料颗粒中的淀粉,用硫酸耐尔蓝来染色粪便颗粒。

2 养殖场PM浓度分析

养殖场中PM的形成、浓度和排放量与诸多物理因素和生物因素有关。已有关于这些特定颗粒物的浓度和排放数据信息主要集中在家禽舍和猪舍。肉鸡舍和猪舍内可吸入和可吸收颗粒物浓度见表1、2。其中可吸入颗粒物相当于总悬浮微粒,可吸收颗粒物相当于PM₄或PM₅(根据EN ISO 481:1993、ISO7708:1995)。禽舍内PM浓度高于猪舍,其中肉鸡舍(架养)内PM浓度又高于蛋鸡舍(笼养)。火鸡舍内总悬浮微粒的浓度与肉鸡舍的可吸入颗粒物浓度相当(表2)。火鸡舍中总悬浮微粒浓度为1.3~7.5 mg/m³^[18]。奶牛舍内气溶胶粒子浓度较低,总悬浮微粒浓度在1 mg/m³

基金项目 国家重点研发计划项目(2016YFD0500505)。

作者简介 李佳明(1990—),男,吉林公主岭人,硕士研究生,研究方向:临床兽医学。*通讯作者,刘林娜,副研究员,博士,从事空气微生物与生物安全研究;张加力,副教授,博士,从事临床兽医学研究。

收稿日期 2017-11-28

以下^[19]。

表 1 肉鸡舍内可吸入和可吸收颗粒物浓度分析

Table 1 The concentrations of inhalable and respirable PM in broiler houses

类型 Type	浓度 Concentration//mg/m ³		国家 Country
	平均值 Mean	范围 Range	
可吸入颗粒物 Inhalable PM	10.10	—	英国
	—	9.2 ~ 11.1	苏格兰
	—	1 ~ 14	德国
	7.15	3.83 ~ 10.36	英国、荷兰、丹麦、德国
	3.21	—	荷兰
	—	8.2 ~ 9.0	荷兰
	—	0.73 ~ 11.39	美国
	—	1.77 ~ 4.41	苏格兰
	4.32	2.27 ~ 8.58	澳大利亚
	—	2.0 ~ 4.9	克罗地亚
可吸收颗粒物 Respirable PM	5.43	—	美国
	9.71	—	—
	0.10	—	英国
	0.81	0.42 ~ 1.14	英国、荷兰、丹麦、德国
	—	1.4 ~ 1.9	荷兰
	0.84	0.30 ~ 1.80	澳大利亚

表 2 猪舍内可吸入和可吸收颗粒物浓度分析

Table 2 The concentrations of inhalable and respirable PM in pig houses

类型 Type	浓度 Concentration//mg/m ³		国家 Country	动物类型 Animal kinds
	平均值 Mean	范围 Range		
可吸入颗粒物 Inhalable PM	6.25	3.2 ~ 15.3	美国	猪(多种)
	7.80	3.1 ~ 14.5	美国	育成猪
	0.72	0.12 ~ 2.14	美国	育肥猪
	—	1 ~ 5	德国	育肥猪
	2.19	1.87 ~ 2.76	英国、荷兰、 丹麦、德国	母猪/断奶仔 猪/育肥猪
	0.43	—	荷兰	断奶仔猪
	—	0.79 ~ 1.91	瑞典	育肥猪/育成猪
	—	0.42 ~ 6.86	美国	育成猪
	—	2.08 ~ 5.67	荷兰	育肥猪/育成猪
	—	0.05 ~ 5.6	美国	育成猪
	—	0.4 ~ 3.7	德国	育肥猪
可吸收颗粒物 Respirable PM	0.23	0.18 ~ 0.26	英国、荷兰、 丹麦、德国	母猪/断奶仔 猪/育肥猪
	—	0.09 ~ 0.30	瑞典	育肥猪/育成猪
	—	0.04 ~ 0.44	美国	育成猪
	—	0.16 ~ 0.71	荷兰	育肥猪/育成猪
	—	0.00 ~ 0.85	德国	育成猪

3 养殖场 PM 粒径大小及分布

养殖场 PM 包括粗颗粒和细颗粒。大多数畜禽舍内粗颗粒在总颗粒物中的占比超过 85%^[20]。Roumeliotis 等^[21]研究表明,PM_{2.5}在 PM₁₀中的占比约为 75%,PM₁中的亚微米颗粒一般很难被检测到,但它们在养殖场中对 PM 浓度的贡献率不容忽视。最小粒径范围内的粒子数量非常多,与所使用的检测设备和检测限有关。肉鸡舍内可吸收 PM 在 1 ~ 2 μm 范围的粒子数量最多^[22]。蛋鸡舍内 99% 的粒子粒径小于

10 μm,且 97% 的的粒子粒径小于 5 μm^[23],40% 以上的粒子粒径在 0.3 ~ 0.5 μm 范围内^[23]。

不同质量分数的粒子分布不同。在猪舍和家禽舍内的粒子中值粒径在 11 ~ 17 μm^[24]。在肉鸡舍中粒子中值粒径在 24 ~ 27 μm^[19]。与肉鸡舍相比,猪舍内小粒子的浓度更高^[10]。猪舍中小于 5.8 μm 的粒子占总悬浮微粒的 29%,而在肉鸡舍中占比仅为 18% 左右^[10]。火鸡舍中粒径超过 53 μm 的粒子占总悬浮微粒的 50%^[25]。

4 养殖场 PM 的化学组成

养殖舍内 90% 以上 PM 由有机物组成^[10,26],主要是生物起源的颗粒物,含微生物(真菌、细菌、病毒、毒素和过敏原)和其他物质,如饲料、皮毛和粪便等^[8]。PM 的组成与动物种类有关,与舍内设施条件及垃圾废物的处理等也存在直接关系^[10]。例如,与牛舍 PM 相比,家禽和猪舍 PM 中氮含量和干物质含量较高,而牛舍环境一般湿度大,矿物质或灰分含量高^[27]。猪舍和鸡舍空气中 PM 的典型化学成分,干物质和氮含量高,磷和钾的浓度也较高。肉鸡舍中氮浓度(169 g/kg PM)高于猪舍(67 g/kg PM)。

有机颗粒物通常用光学显微镜和扫描电子显微镜分析。电子显微镜比光学显微镜具有更高的放大率,可形成三维形状分辨的图像,能更好地识别和表征单个颗粒。扫描电镜联合 X 射线单颗粒分析提高了实现对粒子物理特性、化学特性和元素分析的可能性。目前这种技术已被广泛用于 PM 分析,但需要针对大量的颗粒物进行分析,因此较耗费时间和劳动力^[28]。Aarmink 等^[13]采用扫描电镜联合 X 射线技术分析不同猪舍的 PM 组成,对固定点进行整体面积测量,而不是单颗粒分析,结果表明样品中富含钠、镁铝、磷、硫、氯、钾和钙。Schneider 等^[29]发现猪场中富含磷、氮、钾和钙的 PM 粒径不同。这是一个相对较新颖的观点,对 PM 化学组成的研究,很少从粒子粒径的角度去分析。一般小颗粒(直径约 0.65 μm)富含硫、氧、碳以及对应的二级 SO₄²⁻ 粒子,其余的为生物起源的粒子。同时,排泄物颗粒呈典型的碳质成分,磷含量高,有机磷和焦磷酸盐信号高。

5 养殖场中 PM 的减排措施

养殖舍 PM 排放在很大程度上取决于养殖方式、动物种类以及环境因素,因此 PM 的减排措施也需因地制宜。相关研究已经为制定 PM 减排战略奠定了基础:“低尘”饲养^[30]、除尘垫料、使用饲料添加剂^[31]、水或者油雾喷洒^[32]、调整通风率和风量分布^[33]、真空除尘^[11]、end-of-pipe 技术^[34]以及静电吸尘和离子化^[35]。

这些策略可大致被分为 3 类:源头控制技术、风量分配、空气净化技术^[36]。这些技术在某一特定养殖舍内的应用及其减排效能还需进行详细论证。它们对不同来源、不同粒径大小和分布的 PM 减排效能尚不清楚。目前,要建立最有效、最可行、最经济的减排策略,并适用于特定畜禽舍、动物种类和地理区域,还有很长的路要走。未来的研究应聚焦于如何改善养殖舍内外的空气质量,并结合多种技术或方法,在减排 PM 的同时,消除其他污染物,如氨和异味等。计算

流体动力学工具(Computational Fluid Dynamics tools)可以通过改变养殖舍内气流模式,提高舍内空气质量,有效减少PM的排放^[37]。

6 小结与展望

在目前的污染物和颗粒物排放评估中,畜牧生产系统是被严重忽视的源头之一。因此,需要大力发展针对PM形态及组成分析的方法学。畜禽舍内PM有其独特性:高有机物含量,吸附复合物以及高微生物含量。由于PM富含有机成分以及来源于食物、皮肤和排泄物的C、H、O、N、P、S、Na、Ca、Cl、Mg、K等,因此区分各种无机元素在每个来源中的占比非常重要,这将有助于开展PM来源识别和源头贡献率定量分析,进而从源头上做到减排。对养殖舍PM浓度和排放量的分析也要包括对粒子粒径和分布的监测,尤其是针对不同类型饲养环境和动物种类的畜禽舍。同时,也要关注粒子粒度分级分析,粒度分级与PM来源相关,因此在PM来源解析中要注意分离不同粒径大小的颗粒物样本。

目前对PM排放物,尤其是源头附近排放物形态和化学属性的分析十分匮乏。迄今为止,大多数研究都聚焦于畜禽舍内PM形态学和化学性质的分析,缺乏对这些颗粒物特性、粒径分布和在环境中存活规律的研究。此外,对养殖舍PM排放物形态和化学组成的深入探讨,对于明确环境中二级无机颗粒物形成过程以及其对当地或区域性空气质量的影响具有重要意义。这些发现将有助于了解养殖舍PM排放物对大气化学的影响,同时为建立更有效的、实践性更强的数据模型奠定了基础。现有数据表明,养殖舍附近的PM₁₀并没有超过日限值(50 μg/m³)^[38]。Visser等^[39]对肉鸡舍外进行24 h连续监测,却发现PM_{2.5}浓度在5.4~55.1 μg/m³。

参考文献

[1] EPA. Air quality criteria for particulate matter; vol. II of II[S]. Washington DC: United States Environmental Protection Agency, 2004: 1148.

[2] ANDERSEN C I, VON ESSEN S G, SMITH L M, et al. Respiratory symptoms and airway obstruction in swine veterinarians: A persistent problem [J]. American journal of industrial medicine, 2004, 46(4): 386–392.

[3] RADON K, WEBER C, IVERSEN M, et al. Exposure assessment and lung function in pig and poultry farmers [J]. Occupational and environmental medicine, 2001, 58(6): 405–410.

[4] PHILLIPS V R, HOLDEN M R, SNEATH R W, et al. The development of robust methods for measuring concentrations and emission rates of gaseous and particulate air pollutants in livestock buildings [J]. Journal of agricultural engineering research, 2008, 70(1): 11–24.

[5] GRIMM E. Control of PM emissions from livestock farming installations in Germany [C]//HINZ T, TAMOSCHAT-DEPOLT K. Proceedings of particulate matter in and from agriculture. [s. l.]: FAL Agricultural Research, 2007.

[6] CHARDON W J, VAN DER HOEK K W. Berekeningsmethode voor de emissie van fijn stof vanuit de landbouw [R]. Alterra/RIVM, 2002: 35.

[7] TAKAI H, PEDERSEN S, JOHNSEN J O, et al. Concentrations and emissions of airborne dust in livestock buildings in Northern Europe [J]. Journal of agricultural engineering research, 1998, 70(1): 59–77.

[8] DONHAM K J, POPENDORF W, PALMGREN U, et al. Characterization of dusts collected from swine confinement buildings [J]. American journal of industrial medicine, 1986, 10(3): 294–297.

[9] HONEY L F, MCQUITY J B. Some physical factors affecting dust concentrations in a pig facility [J]. Canadian agricultural engineering, 1979, 21(1): 9–14.

[10] AARNINK A J A, ROELOFS P F M M, ELLEN H H, et al. Dust sources in animal houses [C]//Proceedings of international symposium on dust control in animal production facilities. Aarhus, Denmark; [s. n.], 1999.

[11] NILSSON C. Dust investigations in pig houses: Report 25 [R]. Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Farm Buildings, Division of Farm Building Construction, 1982: 93.

[12] QI R, MANBECK H B, MAGHIRANG R G. Dust net generation rate in a poultry layer house [J]. Transactions of the ASAE, 1992, 35(5): 1639–1645.

[13] AARNINK A J A, STOCKHOFF-ZURWIEDEN N, WAGEMANS M J M. Dust in different housing systems for growing-finishing pigs [C]//Proceedings of engineering the future. Leuven, Belgium; [s. n.], 2004.

[14] KALISTE E, LINNAINMAA M, MEKLIN T, et al. The bedding of laboratory animals as a source of airborne contaminants [J]. Laboratory animals, 2004, 38(1): 25–37.

[15] KALISTE E, LINNAINMAA M, MEKLIN T, et al. Airborne contaminants in conventional laboratory rabbit rooms [J]. Laboratory animals, 2002, 36(1): 43–50.

[16] ALMEIDA S M, PIO C A, FREITAS M C, et al. Source apportionment of fine and coarse particulate matter in a sub-urban area at the Western European Coast [J]. Atmospheric environment, 2005, 39(17): 3127–3138.

[17] ALMEIDA S M. Approaching PM_{2.5} and PM_{2.5-10} source apportionment by mass balance analysis, principal component analysis and particle size distribution [J]. Science of the total environment, 2006, 368(2/3): 663–674.

[18] HINZ T, LINKE S, PIO C A, et al. A comprehensive experimental study of aerial pollutants in and emissions from livestock buildings. Part 1: Methods [J]. Journal of agricultural engineering research, 1998, 70(1): 111–118.

[19] HINZ T, LINKE S. A comprehensive experimental study of aerial pollutants in and emissions from livestock buildings. Part 2: Results [J]. Journal of agricultural engineering research, 1998, 70(1): 119–129.

[20] ROMANN M, HINZ T. Particle size and shape distribution of stable dust analysed with laser diffraction and imaging technique [C]//HINZ T, TAMOSCHAT-DEPOLT K. Proceedings of particulate matter in and from agriculture. [s. l.]: FAL Agricultural Research, 2007.

[21] ROUMELIOTIS T S, VAN HEYST B J. Size fractionated particulate matter emissions from a broiler house in Southern Ontario, Canada [J]. Science of the total environment, 2007, 383(1/2/3): 174–182.

[22] YODER M F, VAN WICKLEN G L. Respirable aerosol generation by broiler chicken [J]. Transactions of the ASAE, 1988, 31: 1510–1517.

[23] MAGHIRANG R G, PUMA M C, LIU Y, et al. Dust concentrations and particle size distribution in an enclosed swine nursery [J]. Transactions of the ASAE, 1997, 40(3): 749–754.

[24] ICC and SRI (IC Consultants and Silsoe Research Institute). Atmospheric emissions of particulates from agriculture, a scoping study. Final report for the ministry of agriculture [R]. Fisheries and Food Research and Development, 2000: 97.

[25] HINZ T, LINKE S. Air quality and emission factors in turkey production [C]//ANEJA. Proceedings of workshop on air quality: State of the science. [s. l.]; [s. n.], 2006: 744–751.

[26] SEEDORF J, HARTUNG J. Emission of airborne particulates from animal production [C]//Livestock farming and the environment. Braunschweig: FAL, 2001: 15–22.

[27] HARTUNG J, SALEH M. Composition of dusts and effects on animals [C]//HINZ T, TAMOSCHAT-DEPOLT K. Proceedings of particulate matter in and from agriculture. [s. l.]: FAL Agricultural Research, 2007.

[28] MAMANE Y, WILLIS R, CONNER T. Evaluation of computer-controlled scanning electron microscopy applied to an ambient urban aerosol sample [J]. Aerosol science and technology, 2001, 34(1): 97–107.

[29] SCHNEIDER T, SCHLUNSEN V, VINZENTS P S, et al. Passive sampler used for simultaneous measurement of breathing zone size distribution, inhalable dust concentration and other size fractions involving large particles [J]. Annals of occupational hygiene, 2002, 46(2): 187–195.

[30] NANNEN C, SCHMITT-PAUKSZTAT G, BUSCHER W. Microscopic test of dust particles in pig fattening houses: Differences between dry and liquid feeding [J]. Landtechnik, 2005, 60(4): 218–219.

[31] GUARINO M, JACOBSON L D, JANNI K A. Dust reduction from oil-based feed additives [J]. Applied engineering in agriculture, 2007, 23(3): 329–332.

[32] TAKAI H, PEDERSEN S. A comparison study of different dust control methods in pig buildings [J]. Applied engineering in agriculture, 2000, 3(16): 269–277.

2.3.4 样品均一性产生的不确定度。试验过程中,通过对带鱼样品进行 6 次重复平行试验测量结果平均值的标准偏差来衡量样品均一性等引起的不确定度。样品 6 次平行试验测定结果平均值为 0.100 mg/kg, RSD 为 4.5%。 $U_{\text{rel}}(\text{uni}) = \text{RSD}/\sqrt{6} = 0.0184$ 。

2.3.5 试验过程中其他因素引起的不确定度。由于带鱼样品消解不完全或消解过程元素损失或污染和分析程序的系统偏差及其他随机因素引起的不确定度以回收率的形式来综合评价。回收率采用 50 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 水平 3 平行样品添加回收,回收测定结果见表 3。回收率引入的不确定度按 JJF 1059.1—2012《测量不确定度评定与表示》计算。取矩形分布,按公式 $U(\text{rec}) = \sqrt{(b^+ + b^-)^2/12}$, 其中 $b^+ = -4\%$, $b^- = 16\%$, 则 $U_{\text{rel}}(\text{rec}) = 0.0346$ 。

表 3 回收率测定结果

Table 3 Measurement result of recovery rate

样品 Sample	添加回收测定值 Adding recovery measurements $\mu\text{g}/\text{kg}$	回收率 Recovery rate %
1	45	90.0
2	48	96.0
3	42	84.0
平均值 Mean	45	90.0
RSD//%	6.67	

2.4 不确定度分量合成 将称样过程产生的相对合成不确定度、消解液定容产生的不确定度、标准溶液配制过程产生的不确定度、样品均一性产生的不确定度及其他因素产生的

不确定度进行合成。所以该方法中 As 含量的总合成相对标准不确定度为 $U_{\text{rel}} = 0.0394$, 合成标准不确定度为 0.00394 mg/kg。取置信水平为 95%, 包含因子 $k=2$, 则扩展不确定度 $U = k \times 0.00394 = 0.00788$ mg/kg。因此,带鱼样品中总砷含量测定结果为 $w = 0.100 \pm 0.00788 (k=2)$ 。

3 结论

该研究采用数学模型对带鱼中总砷含量的检测进行不确定度分析,从整个不确定度评定过程来看,各类不确定度分量对于最后合成不确定度的贡献主要来自于样品均一性、样品消解完全性及其他随机因素。因此,样品预处理过程尽可能保证样品均一性,且根据样品类型,优化消解过程等,以此提高检测结果的准确性。

参考文献

- [1] 王玉萍, 庞艳华, 李军, 等. 微波消解—电感耦合等离子体质谱法测定调味品中砷的含量[J]. 食品科学, 2008, 29(1): 231—233.
- [2] 姜童祥, 胥艳. 电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)同时测定紫菜中砷、镉含量的不确定度评定[J]. 河南预防医学杂志, 2017, 28(6): 423—427.
- [3] 蔡江帆, 王志洪. 微波消解—电感耦合等离子体质谱(ICP-MS)法同时测定紫菜中 16 种稀土元素[J]. 中国无机分析化学, 2017, 7(3): 19—24.
- [4] 刘海霞, 马小宁. 电感耦合等离子体质谱法同时测定食品中的铅、镉和总砷[J]. 化学分析计量, 2014, 23(4): 31—33.
- [5] 刘同英, 武善风, 张立东. 电感耦合等离子体质谱法对花生中镉测量的不确定度评定[J]. 食品科学, 2011, 32(14): 285—288.
- [6] 陆美斌, 李为喜, 李静梅, 等. 电感耦合等离子体质谱法测定谷物中砷和镉的不确定度评定[J]. 中国食品学报, 2014, 14(5): 180—185.
- [7] 何龙波, 杨勇, 杨素萍, 等. 使用 ICPMS 测试大米中镉含量的测量不确定度评定[J]. 广州化工, 2017, 45(14): 135—138.
- [8] 国家市场监督管理总局. 测量不确定度评定与表示: JJF 1059.1—2012[S]. 北京: 中国计量出版社, 2012.
- [9] 国家市场监督管理总局. 化学分析测量不确定度评定: JJF 1135—2005[S]. 北京: 中国计量出版社, 2005.

(上接第 82 页)

- [33] GUSTAFSSON G, VON WACHENFELT E. Airborne dust control measures for floor housing system for laying hens[J]. CIGR Ejournal, 2006, VIII: 1—13.
- [34] TAN Z C, WANG X L, ZHANG Y. Aerodynamic deduster technologies for removing dust and ammonia in air streams[C]//Proceedings of international symposium livestock and environment. [s. l.]: ILES VII, 2005.
- [35] DOLEJS J, MASATA O, TOUFAR O. Elimination of dust production from stables for dairy cows[J]. Czech journal of animal science, 2006, 51(7): 305—310.
- [36] ALMUHANNA E. Dust control in livestock buildings with electrostatically-charged water spray[D]. Manhattan: Kansas State University, 2007:

236.

- [37] RONG L, NIESLEN P V, TONG G, et al. Computational fluid dynamics study on the influence of airflow patterns on carbon dioxide distribution in a scaled livestock building[C]//International conference on agricultural engineering. [s. l.]: [s. n.], 2008.
- [38] BULL M. Investigation of the impact of intensive broiler rearing on local fine particulate matter concentrations[J]. Water and environment journal, 2008, 22(1): 25—31.
- [39] VISSER M C, FAIRCHILD B, CZARICK M, et al. Fine particle measurements inside and outside tunnelventilated broiler houses[J]. Journal of applied poultry research, 2006, 15(3): 394—405.

本刊提示 参考文献只列主要的、公开发表的文献,序号按文中出现先后编排。著录格式(含标点)如下:(1)期刊——作者(不超过 3 人者全部写出,超过者只写前 3 位,后加“等”)。文章题名[J]。期刊名,年份,卷(期);起止页码。(2)图书——编著者.书名[M]。版次(第一版不写)。出版地:出版者,出版年;起止页码。(3)论文集——析出文献作者.题名[C]//。主编.论文集名.出版地:出版者,出版年;起止页码。

文稿题名下写清作者及其工作单位名称、邮政编码;第一页地脚注明第一作者简介,格式如下:“作者简介:姓名(出生年—),性别,籍贯,学历,职称或职务,研究方向”。

来稿请用国家统一的法定计量单位的名称和符号,不要使用国家已废除了的单位。如面积用 hm^2 (公顷)、 m^2 (平方米),不用亩、尺²等;质量用 t(吨)、kg(千克)、mg(毫克),不再用担等;表示浓度的 ppm 一律改用 mg/kg、mg/L 或 $\mu\text{L}/\text{L}$ 。