

奶牛场恶臭污染物扩散规律研究

郑芳, 程波, 李玉明, 杜会英, 张爱, 夏维

(农业部环境保护科研监测所, 天津 300191)

摘要:以山东省某县中等规模的3个奶牛养殖场为试验场地,以臭气浓度为监测指标,在下风向距恶臭排放源不同距离处设置采样点,对规模化奶牛养殖场恶臭污染物的下风向扩散规律及影响扩散规律的部分气象因素进行了研究,并通过数据回归得出了恶臭污染物水平扩散模型。结果表明,奶牛场恶臭污染物的排放浓度随距离的增加迅速减小,通过线性回归得出下风向同一高度处的臭气浓度与监测点距排放源的距离呈指数函数关系;对于气象条件,在27~37℃,风速小于 $5.4\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的范围内,风速、空气温度和空气相对湿度对恶臭污染物扩散规律的影响均显著,其中温度和风速对恶臭污染物扩散规律的影响较空气相对湿度大。

关键词:奶牛场;恶臭污染物;臭气浓度;扩散

中图分类号:X512 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-2043(2010)09-1808-06

Diffusion Laws of Odorous Pollutants from Dairy Farms

ZHENG Fang, CHENG Bo, LI Yu-ming, DU Hui-ying, ZHANG Ai, XIA Wei

(Institute of Agro-environmental Protection, MOA, Tianjin 300191, China)

Abstract: Odorous pollutants exhausted from livestock and poultry farms have caused strong dissatisfaction from the surrounding residents. These odorous pollutants not only seriously harm human health, but also seriously affect the surrounding air quality. In this study, odor concentration was selected as a monitored index of odorous pollutants, and three moderate scale dairy farms in Shandong Province were selected as experimental sites. The horizontal dispersion law of odorous pollutants was studied along different distance between monitoring points and the odor source from 0 meters to 300 meters. The meteorological factors (i.e. wind speed, temperature and atmospheric stability) were also taken into consideration. We gained the horizontal dispersion model of odorous pollutants by regressing measurement data, and then according to the related standard we calculated reasonable separation distance to avoid odor nuisance. The results showed odor concentration decreased exponentially as a function of distance between monitoring points and the odor source. For meteorological factors, with outdoor temperature of about 32℃ and air relative humidity of about 30%, wind speed had significant influence on odor concentrations ($P<0.05$). When wind speed was below $2\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, and air relative humidity was about 30%, outdoor temperature (27~37℃) affected odor concentrations significantly at $P<0.05$, and odor diffusion ability was strongest at 32℃; When outdoor temperature was about 32℃, wind speed was below $2\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, odor concentration decreased significantly with the increase of air relative humidity. Arranging the meteorological factors of odor pollutants diffusion, temperature and wind speed were more important than air relative humidity.

Keywords: dairy farms; odorous pollutants; odor concentration; diffusion

随着畜禽养殖业生产经营的规模化和集约化程度不断提高,如何控制和消除畜禽业产生的环境污染已成为环保事业和畜禽养殖业生产面临的重要课题。其中畜禽养殖场引起的恶臭污染已成为危害周围居

民生产和生活的公害之一。这些恶臭物质不仅严重危害人畜健康,还会严重影响周围的空气质量。由于养殖场恶臭排放源一般高度低,恶臭污染物的扩散主要受到大气湍流作用的影响,不易向上扩散,在污染源附近会出现高浓度的污染区。研究养殖场恶臭污染物扩散规律有助于解决畜禽养殖场周围的恶臭污染问题。

国外的专家学者对畜禽养殖场的恶臭污染开展了大量研究。2002年Schauberger等根据养殖场恶臭污染的特点对高斯扩散模型进行了修正,从而建立了

收稿日期:2010-02-01

基金项目:中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(2008-LYM-10)

作者简介:郑芳(1983—),女,山西晋中人,硕士研究生,环境工程专业,研究方向为环境影响评价。E-mail:zhengf603@163.com

通讯作者:程波 E-mail:cb59@eyou.com

AODM(Austrian odour dispersion model)用于计算养殖场恶臭防护距离^[1]。2007 年 L Pan 等研究表明,臭气强度与距恶臭排放源的距离呈指数函数关系衰减^[2]。同时国外对于影响恶臭污染物扩散的因素也开展了大量的研究。最初只考虑了其中化学成分对恶臭强度的影响^[3-5]。Miner 和 Barth 的研究表明,风速可以影响畜禽场周围的恶臭^[6]。一些专家的报告还指出,温度对于恶臭的产生发挥着重要的作用^[7-9],Zhu 等认为有很多的因素会影响养殖场周围的恶臭强度,如风速、大气的稳定性和距离等,另外恶臭水平还会随时间和季节的变化而变化^[10]。Guo H 等发现稳定的大气并不利于恶臭的扩散^[11]。2007 年 L Pan 等研究还表明,距恶臭排放源的距离、温度与恶臭强度的相关性很高^[2]。

目前,国内对恶臭污染扩散的研究大多沿袭了原大气污染的扩散模型和计算方法,针对无组织排放源,尤其是养殖场的恶臭污染扩散的研究还鲜有报道。

本文以山东省某县中等规模的 3 个奶牛养殖场(年存栏量在 600 头左右)为试验场地,以臭气浓度为监测指标,初步探索了规模化奶牛养殖场下风向恶臭污染物的水平扩散规律,并分析了可能影响恶臭污染物扩散过程的部分气象因素,从而对恶臭问题得到更全面、更透彻的理解。

1 材料与方法

1.1 测定指标与方法

1.1.1 测定指标选择依据

奶牛养殖场排放的恶臭是由多种混合气体造成的,仅对有限的几种恶臭组分进行测定不能反映恶臭污染给人带来的厌恶感或不愉快的程度,臭气浓度作为感官指标,可以用来综合评价养殖场的恶臭强度。本研究选取臭气浓度作为测定指标。

1.1.2 采样与分析方法

本研究臭气浓度的采样和分析均执行《三点比较式臭袋法》(GB/T 14675—1993)的规定。采用直接吸样法,采样器为耐压的玻璃样品瓶。采样前在实验室内按要求清洗,并用真空排气处理系统抽真空,使瓶内压力接近负 1.0×10^5 Pa。采样时,打开采样瓶塞,使样品气体充入采样瓶内至常压后盖好瓶塞,避光运回实验室测定。由 6 名嗅辨员组成嗅辨小组,在无臭室内对配气员根据不同稀释倍数配置的气袋进行嗅辨,最终确定稀释倍数,得到样品的臭气浓度值。

本研究涉及到的风速、气温、空气相对湿度采用符合国家标准的温湿度计及风速仪进行测定。

1.2 采样点布设

在养殖场下风向处距恶臭排放源不同距离处(2、50、100、300 m)设置 4 个采样点,采样器高度为 1.6 m。图 1 是本研究采样点分布图(监测试验分别在 3 个不同的现场完成)。

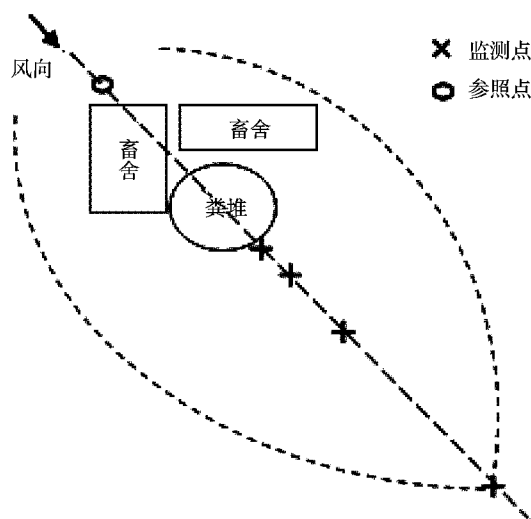


图 1 监测点分布

Figure 1 Monitoring point distribution

1.3 采样时间

从 2009 年 6 月到 7 月间,分别对各采样点进行监测,连续监测 5 周,每周采样 4 次。采样时,记录每个采样点的云层覆盖度(如晴天,或阴天)、气温、风速、风向。

1.4 数据分析方法

采用 DPS9.50 数据处理系统对数据进行方差分析,采用 LSD 方法进行多重比较。采用 DPS 数据处理系统中的回归方程分析恶臭污染物的排放浓度与排放源距离的关系。用 Excel 进行图表绘制。

2 结果与分析

2.1 下风向恶臭污染物扩散基本规律

在 $32\text{ }^{\circ}\text{C}$, 风速小于 $2\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, 空气相对湿度为 30% 左右的条件下,奶牛养殖场恶臭污染物下风向水平扩散监测结果如图 2 所示。在气温、风速、空气相对湿度等气象条件基本一致的情况下,距养殖场恶臭排放源下风向最近 50 m 内,臭气浓度的下降趋势极其明显;在 50~100 m 处,下降趋势减缓;在距恶臭排放源 100~300 m 处,臭气浓度的下降趋势不明显,臭气浓度与环境空气背景值趋于一致。

由大气污染物扩散理论^[11]可知,恶臭污染物进入

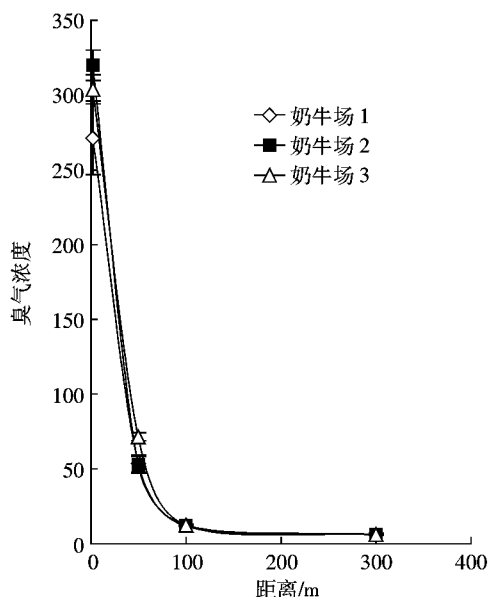


图2 恶臭污染物水平扩散曲线

Figure 2 Horizontal dispersion curve of odorous pollutants

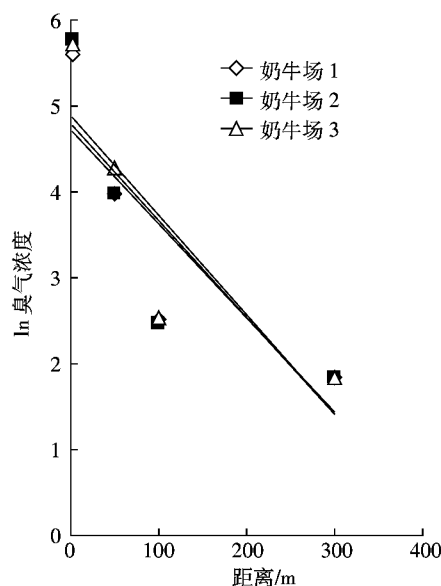


图3 距离和臭气浓度自然对数的关系

Figure 3 Effects of distance on natural logarithm of odor concentrations

大气环境后,由于大气湍流运动,污染物从高浓度区向低浓度区扩散稀释。同时,吸附了部分恶臭气体的颗粒物发生干、湿沉降而得到了净化,从而随着与排放源距离的增加,恶臭污染物浓度下降显著。

2.2 扩散数学模型

由图2可知,随着距养殖场恶臭排放源下风向距离的增大,距恶臭排放源的距离对下风向恶臭强度影响显著。经进一步研究,下风向臭气浓度与距恶臭排放源的距离呈指数函数关系衰减,此研究结果与L Pan等^[2]的研究结果相似。

按照指数函数的基本方程式:

$$y = a \times \exp(bx) \quad (1)$$

式中: y 为下风向距排放源一定距离处的臭气浓度(无量纲); x 为距恶臭污染源的排放距离,m; a 、 b 为常数。

对公式(1)两边取自然对数,转换为:

$$\ln y = bx + \ln a \quad (2)$$

另外,根据公式(2)可得,臭气浓度取自然对数后与距恶臭排放源的距离在图上呈一条直线($R^2=0.985$),见图3所示。

将3个养殖场的臭气浓度监测数据代入公式(2)进行回归分析,得出的各扩散方程中的 $\ln a$ 和 b 的值见表1。从表1的数据可以看出,各回归方程的相关性均较好,因此可以用公式(2)来量化描述养殖场恶臭污染物的水平扩散规律。各回归方程式中初始距离 $\ln a$ 变

表1 养殖场恶臭污染物扩散回归方程式

Table 1 Horizontal dispersion equation of odorous pollutants

种类	b	$\ln a$	R^2
奶牛场 1	-0.034 8	5.60	0.969
奶牛场 2	-0.037 3	5.83	0.989
奶牛场 3	-0.032 0	5.78	0.997
平均	-0.034 7	5.74	—

化不大,最大值为最小值1.04倍,算术平均值为5.74。

因此,可以认为对于存栏量600头左右的奶牛养殖场,在32℃、风速为小于 $2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 、空气相对湿度为30%左右时,其恶臭污染物水平扩散方程的系数是基本不变的。

2.3 影响恶臭污染物排放规律的气象因素

2.3.1 风速

在32℃、空气相对湿度为30%左右的条件下,本研究在下风向的中心线上对不同风速下($0 \sim 5.4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$)恶臭污染物的扩散规律进行了监测,结果见图4。研究结果说明,在距养殖场恶臭排放源下风向0~100 m范围内,风速对恶臭污染物扩散速度的影响显著($P=0.002 < 0.05$),随着风速的增加臭气浓度值随距离衰减速率加快。

一般来说,风速愈高,大气越不稳定,大气对污染物的扩散稀释能力愈强,则大气中污染物的浓度也就愈低^[12]。Miner J R等^[5]认为风速可以影响养殖场周围

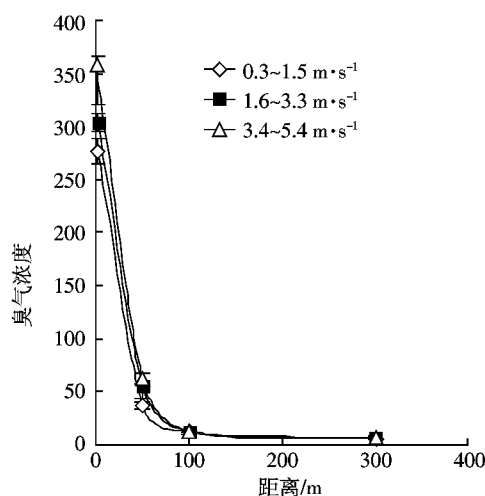


图4 风速对恶臭扩散的影响程度

Figure 4 Effects of wind speed on odor diffusions

的恶臭强度。L Pan 等^[2]认为风速对恶臭水平的影响是复杂的,其有助于恶臭扩散,但恶臭在扩散过程中将以更快的速率稀释。因此,本研究认为风速只是影响恶臭污染物扩散的因素之一。

2.3.2 温度

在风速小于 $2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 空气相对湿度为 30% 左右时,本研究对不同温度 ($27 \sim 37^\circ\text{C}$) 条件下的臭气浓度进行了监测,结果见图 5。研究结果表明,在距养殖场恶臭排放源下风向 $0 \sim 100 \text{ m}$ 范围内,室外气温对恶臭污染物扩散规律的影响极其显著 ($P=0.0002 < 0.05$),在 32°C 左右时,恶臭污染物扩散稀释速率最显著。

温度越高,扩散速率越快。一方面是因为恶臭物

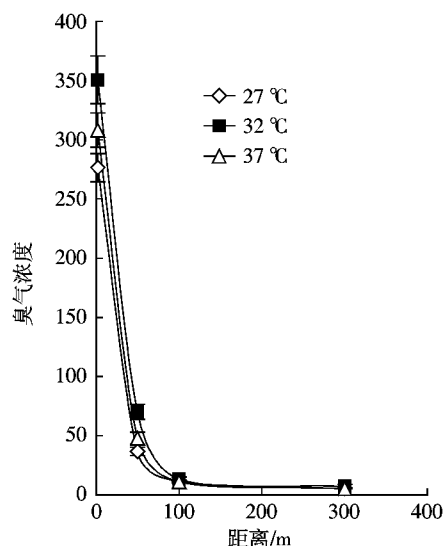


图5 气温对恶臭扩散的影响程度

Figure 5 Effects of temperature on odor diffusions

质的产生和挥发速率会随着环境温度的增加而加快;另一方面是因为温度和风速会影响大气稳定度。大气越不稳定,污染物的扩散速率就越快;反之,则越慢。2001 年 Guo H 等发现恶臭在稳定的大气中,在低风速下能跨越更长更宽的距离^[1]。根据本试验的气象条件(温度和风速)可以确定试验当时的大气稳定度处于 A~C 之间,为不稳定状态,使得污染气流迅速扩散。

2.3.3 空气相对湿度

在 32°C 、风速小于 $2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的条件下,分别在不同空气相对湿度下对养殖场距恶臭排放源不同距离处的臭气浓度进行了监测,结果如图 6。结果表明,在距养殖场恶臭排放源下风向 $0 \sim 100 \text{ m}$ 范围内,空气相对湿度对臭气浓度的扩散规律影响效果显著 ($P=0.0083 < 0.05$)。有研究表明,在实际的大气环境中空气湿度对污染物在大气中的扩散影响较大,对颗粒污染物的影响尤为明显^[3],主要是因为空气污染物在扩散过程中,由于空气湿度的增加,大气中的水汽凝结物(云或雾)对养殖场排放的空气污染物(包括颗粒物和恶臭气体)的净化作用加大,从而使得养殖场的臭气浓度随距离的递减规律加快。

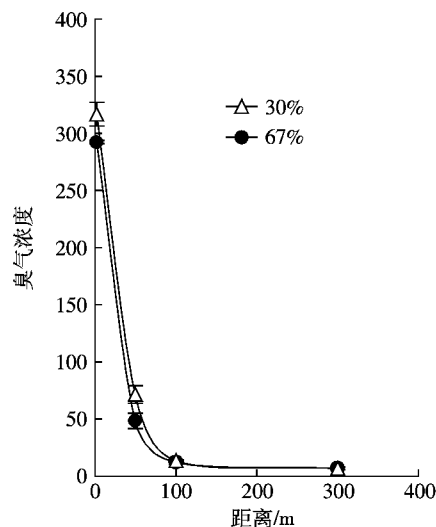


图6 空气相对湿度对恶臭扩散的影响程度

Figure 6 Effects of air relative humidity on odor diffusions

3 讨论

本研究认为,由于恶臭污染物排放源包括畜舍及活动场、粪便堆放区等无组织排放源或者是数量多且源强、源高都不大的点源,需要作为面源来考虑。

3.1 恶臭污染物扩散衰减规律

本研究得出了水平扩散回归方程式为统计回归模式,与高斯扩散模式存在一定差异。可以从以下角

度解释本研究结果。

Sutton 提出的扩散模型主要是针对单一气态污染物的浓度分布规律提出的扩散模型^[12]。但一般认为,养殖场的恶臭污染物是由微生物分解粪便产生的混合物,它除包括挥发性脂肪酸、酸类、酚类、醇类、醛类、酮类、酯类、胺类、硫醇类及含氮杂环化合物等有机成分外,还包括氨气、硫化氢、甲烷、二氧化碳等无机成分^[14],因此仅仅用高斯扩散模型不能正确预测混合污染物的浓度分布规律。另外,据相关监测数据显示,养殖场周围空气中颗粒物含量明显高于无污染源地区,而且 1/3 的颗粒物为粒径在 10 μm 以下的可吸入颗粒物(PM_{10});Erisman 等报道,欧洲由养殖场排入空气中的颗粒物占到空气中颗粒物总量的 20%,其中直径小于或等于 2.5 μm 的颗粒物(可入肺颗粒物 $\text{PM}_{2.5}$)占 5%, PM_{10} 占 25%^[15]。这些颗粒物主要来自养殖场内动物的活动、畜舍通风、粪便、空气中夹带的矿物和土壤中的有机质,其中 80%~90%的颗粒物是直径 $\leq 2.5 \mu\text{m}$ 的 $\text{PM}_{2.5}$ ^[15]。

这说明养殖场在向环境空气中排放大量恶臭气体的同时,还有一定量的颗粒物随之进入大气。因此在研究养殖场恶臭污染物的扩散规律时,除考虑自身组分的扩散稀释外,需综合考虑空气中颗粒物的影响。

由于养殖场的生产和废弃物管理水平也会在一定程度上影响恶臭污染物的排放量,如养殖场畜舍通风情况、畜禽粪便量、粪便贮存方式、贮存时间、运输方式及周期、粪便无害化或资源化处理率等因素。这些因素会导致养殖场恶臭污染物的排放量始终为一个变量,且变化范围很大;加之养殖场的恶臭污染物成分复杂,各组分的含量不确定。因此,对恶臭污染排放规律不能直接套用针对具体组分的高斯扩散模型进行计算。

3.2 气象因素对排放规律影响

根据大气污染物扩散理论^[12],大气污染物的漂移方向主要受风向的影响,向下风向地区稀释,污染物排放源的上风向地区基本不会形成大气污染,而下风向区域的污染程度就比较严重,因此本试验仅对养殖场下风向的恶臭污染物排放规律进行研究。

根据大气热力学原理,影响污染物扩散的气象因子主要是大气稳定性和风^[12],其中影响大气稳定度的因素又包括温度、风速、太阳辐射角等因素。大气污染物的扩散稀释能力随着区域气象条件的改变而变化。在不同气象条件下,同一污染源对同一地区所造成的地面污染物浓度可相差几十倍。本研究结果也表明,

在一定的气象组合条件下,风速、空气温度和空气相对湿度对恶臭污染物的排放规律影响都较大,符合大气污染物扩散理论。

本研究只初步研究了中型奶牛养殖场恶臭污染物的下风向扩散规律及其部分气象因素,对于畜禽种类、养殖场规模及其他影响因素(如地形、地面遮蔽物等)对于恶臭污染物扩散规律的影响还有待进一步研究。另外,本研究得出的恶臭污染物水平扩散方程式仅仅是在不稳定大气条件下对恶臭污染扩散规律的初步探索,还有待进一步研究和论证。

4 结论

下风向臭气浓度与距恶臭排放源的距离呈指数函数关系衰减。对于气象因素的研究表明,在风速小于 5.4 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 、空气相对湿度在 30%~67%范围内,温度在 27~37 $^{\circ}\text{C}$ 范围内的气象条件下,在距养殖场恶臭排放源下风向 0~100 m 范围内,风速、室外温度和空气相对湿度对恶臭污染物扩散速度的影响均显著,且温度和风速对恶臭污染物扩散规律的影响较空气相对湿度大。

本研究认为,可以根据养殖场恶臭排放的相关标准和研究得出的扩散方程式,在恶臭排放源和居民区之间计算合理的防护距离,从而使畜禽养殖场的恶臭强度降低到人们可接受的水平,保护养殖场周围居民的身体健康。

参考文献:

- [1] Schaubberger G, Piringer M, Petz E. Calculating direction-dependent separation distance by a dispersion model to avoid livestock odour annoyance[J]. *Biosystems Engineering*, 2000, 82(1):25-37.
- [2] L Pan, S X Yang, J De Bruyn. Factor analysis of downwind odours from livestock farms[J]. *Biosystems Engineering*, 2007, 96(3):387-397.
- [3] Zahn J A, DiSpirito A A, Do Y S, et al. Correlation of human olfactory response to airborne intensities of malodorous volatile organic compounds emitted from swine effluent[J]. *Journal of Environmental Quality*, 2001, 30(2):635-647.
- [4] Lunn F, Van De Vyver J. Sampling and analysis of air in pig houses[J]. *Agriculture and Environment*, 1977, 3(2-3):159-169.
- [5] James K R, Yang S X, Hacker R R. Single-component modelling of pig farm odour with statistical methods and neural networks[J]. *Biosystems Engineering*, 2004, 88(3):271-279.
- [6] Miner J R, Barth C L. Controlling odours from swine buildings[R]. USA: Iowa State University, 1993:PIH-33.
- [7] Powers W, Bastyr S. Downwind air quality measurements from poultry and livestock facilities[R]. USA: Iowa State University, 2004:ASL-R1927.

- [8] Schauburger G, Piringer M, Petz E. Calculating direction-dependent separation distance by a dispersion model to avoid livestock odour annoyance[J]. *Biosystems Engineering*, 2002, 82(1):25-37.
- [9] Le P D, Aarnink A J A, Ogink N W M, et al. Effects of environmental factors on odour emission from pig manure[J]. *Transactions of ASAE*, 2005, 48(2):757-765.
- [10] Zhu J, Jacobson L D, Schmidt D R, et al. Daily variations in odour and gas emissions from animal facilities[J]. *Transaction of ASAE*, 2000, 16(2):153-158.
- [11] H Guo, L D Jacobson, D R. Schmidt, et al. Simulation of odor dispersion as impacted by weather conditions[M]. ASAE Publication Number 701(2001), 201.
- [12] 郝吉明, 马广大. 大气污染控制工程[M]. 第二版. 北京: 高等教育出版社, 1985:77-89.
- HAO Ji-ming, MA Guang-da. Air pollution control engineering[M]. 2nd Edition. Beijing: Higher Education Press, 1985:77-89.
- [13] 崔九思, 王钦源, 王汉平. 大气污染监测方法[M]. 北京: 化学工业出版社, 1997:1122.
- CUI Jiu-si, WANG Qin-yuan, WANG Han-ping. Atmospheric pollution monitoring method[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 1997: 1122.
- [14] Takuya Y. Method for preventing malodor from livestock manure by utilization of refuse-derived solid fuels[J]. *Fuel and Energy Abstracts*, 2003, 44(4):271.
- [15] Erisman J W, et al. Agricultural air quality in Europe and the future perspectives[J]. *Atmospheric Environment*, 2007, 4:4.

欢迎订阅

2011年《中国农业科学》中、英文版

《中国农业科学》中、英文版由农业部主管、中国农业科学院主办。主要刊登农牧业基础科学和应用基础科学研究论文、综述、简报等。设有作物遗传育种;耕作栽培·生理生化;植物保护;土壤肥料·节水灌溉·农业生态环境;园艺;园林;贮藏·保鲜·加工;畜牧·兽医等栏目。读者对象是国内外农业科研院(所)、农业大专院校的科研、教学人员。

《中国农业科学》中文版影响因子、总被引频次连续多年居全国农业科技期刊最前列或前列位次。1999年起连续10年获“国家自然科学基金重点学术期刊专项基金”资助;2001年入选中国期刊方阵双高期刊;1999年获“首届国家期刊奖”,2003、2005年获“第二、三届国家期刊奖提名奖”;2004-2006年连续荣获第四、五届全国农业优秀期刊特等奖;2001年起6次被中信所授予“百种中国杰出学术期刊”称号;2008年获中国科技信息研究所“精品科技期刊”称号,及武汉大学中国科学评价中心“权威期刊”称号。在北京大学《中文核心期刊要目总览(2008年版)》中位居“农业综合类核心期刊表”首位。2010年1月起中文版改为半月刊,将有更多最新农业科研成果通过《中国农业科学》及时报道。

《中国农业科学》英文版(Agricultural Sciences in China)2002年创刊,2006年1月起正式与国际著名出版集团 Elsevier 合作,海外发行由 Elsevier 全面代理,全文数据在 ScienceDirect 平台面向世界发行。2010年1月起英文版页码增至160页。2010年 Agricultural Sciences in China 被 SCIE 收录。

《中国农业科学》中文版大16开,每月1、16日出版,国内外公开发行。每期224页,定价49.50元,全年定价1188.00元,国内统一刊号:CN11-1328/S,国际标准刊号:ISSN0578-1752,邮发代号:2-138,国外代号:BM43。

《中国农业科学》英文版大16开,每月20日出版,国内外公开发行。每期160页,国内订价36.00元,全年432.00元,国内统一刊号:CN11-4720/S,国际标准刊号:ISSN1671-2927,邮发代号:2-851,国外代号:1591M。

地址:北京 中关村南大街12号《中国农业科学》编辑部

电话:010-82109808,82106279,82106283,82106282

网址:www.ChinaAgriSci.com

邮编:100081

传真:010-82106247

邮箱:zgnykx@mail.caas.net.cn