

不同地面结构育肥猪舍的恶臭排放影响因素分析*

汪开英¹ 魏 波¹ 应洪仓² 罗皓杰²

(1. 浙江大学生物系统工程与食品科学学院, 杭州 310058; 2. 浙江省环境监测中心, 杭州 310012)

【摘要】 研究了冷、暖季节下生物发酵床、水泥实心、全缝隙3种不同地面结构的机械通风育肥猪舍的恶臭浓度、排放系数及地面结构、舍内温湿度、猪体重对恶臭浓度的影响。研究表明:猪舍的恶臭浓度与舍内温度、猪体重呈显著正相关($p < 0.05$),恶臭浓度与相对湿度无显著相关性($p > 0.1$);地面结构不同,恶臭浓度存在显著差异($p < 0.05$);生物发酵床猪舍有助于恶臭减排,恶臭浓度最低,水泥实心地面猪舍的恶臭浓度最高,全缝隙地面猪舍的恶臭浓度居中;生物发酵床、全缝隙、水泥实心地面育肥猪舍的恶臭排放系数分别为 (3.39 ± 3.33) 、 (3.70 ± 1.31) 、 (4.33 ± 2.39) OU/($\text{m}^2 \cdot \text{s}$)。

关键词: 恶臭浓度 育肥猪舍 排放系数 地面结构

中图分类号: X512; TU264⁺.3 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2011)09-0186-05

Odor Emissions and Impact Factors of Fattening Pig Rooms with Different Floor Systems

Wang Kaiying¹ Wei Bo¹ Ying Hongcang² Luo Haojie²

(1. School of Biosystems Engineering and Food Science, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China
2. Zhejiang Environmental Monitoring Center, Hangzhou 310012, China)

Abstract

Odor samples from three fattening rooms with different floor systems were collected and analyzed by using triangle odor bag method under cool and warm weather. It showed that there were significantly positive correlations between odor concentration and indoor temperature and pig weight($p < 0.05$). The correlation was not significant between odor concentration and relative humidity($p > 0.1$). Significant differences were found in the three pig rooms with different floor systems($p < 0.05$). Odor concentration was highest in the pig room with traditional concrete floor system; full-slatted floor system was the second, and the lowest for deep-litter fermentation system. The results indicated that deep-litter system was effective for odor mitigation. Odor emission factors from the deep-litter room, fully-slatted floor room, and concrete floor room were (3.39 ± 3.33) , (3.70 ± 1.31) and (4.33 ± 2.39) OU/($\text{m}^2 \cdot \text{s}$), respectively.

Key words Odor concentration, Fattening pig rooms, Emission factors, Floor systems

引言

畜禽养殖业是恶臭污染的主要农业源,其恶臭排放不仅影响空气质量,而且影响人畜健康^[1~3]。20世纪90年代起,欧美各国就开展了畜禽养殖场恶臭浓度、恶臭排放率、恶臭控制等研究^[4~10]。当

前国内针对畜禽养殖场恶臭的研究主要有恶臭产生过程的微生物学原理控制、饲料控制、粉尘控制、排放口恶臭气体过滤装置开发、单一气体污染物(如 NH_3 、 H_2S 、 CH_4 等)排放监测及减排控制等^[11~15]。国内以畜禽场恶臭为监测对象的研究鲜有报道,对畜禽场各恶臭污染源的恶臭排放特征、变化规律及

收稿日期: 2010-10-20 修回日期: 2011-04-08
* 国家自然科学基金资助项目(30571357)和浙江省科技厅重大专项重点国际合作项目(2009C14018)
作者简介: 汪开英,副教授,主要从事畜禽环境工程研究,E-mail: zjuwky@zju.edu.cn

恶臭排放率的研究也未见报道。

猪舍是猪场恶臭的主要污染源之一,猪舍恶臭污染排放与其地面结构及通风方式、养殖与管理方式、粪便清理与管理方式、舍内外环境条件、猪生长阶段、饲养量及饲料等因素相关。本文对我国规模猪场具有代表性的水泥实心、全缝隙、生物发酵床3种地面结构的机械通风育肥猪舍的恶臭进行采样分析,研究冷、暖季节下猪舍地面结构、舍内温湿度和猪体重对恶臭浓度的影响及其恶臭排放率,为我国规模猪场的环保型猪舍结构设计、舍内恶臭污染控制技术、恶臭污染扩散模拟与影响评估等研究提供

参考。

1 试验材料与方法

1.1 试验猪舍及通风方式

本试验在农业部农业环境工程与智能化设备重点开放实验室的动物人工气候室内进行。猪舍地面结构包括生物发酵床、水泥实心、全缝隙3种(生物发酵床垫料由谷壳、米糠、锯末与洛东酵素按一定配比混合发酵而成),如图1所示。试验期间,猪舍采用机械通风方式(风机通风量9 300 m³/h),各猪舍通风率一致,保持在0.1 m³/s。

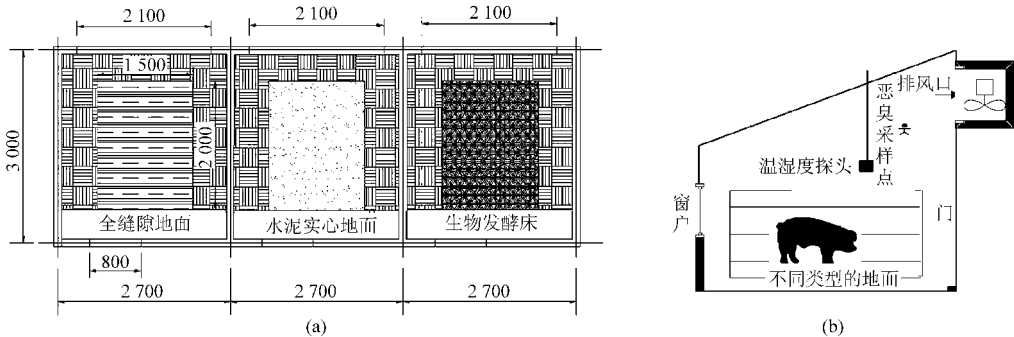


图1 试验猪舍地面类型及结构示意图

Fig.1 Diagram of floor types and construction of three experimental pig rooms

(a) 地面结构俯视图 (b) 猪舍剖面结构

1.2 饲养方式与猪舍日常管理

每间猪舍饲养2头猪,所有试验用猪在试验前的体重为35~36 kg,以确保在相同条件下进入试验。饲养到100 kg左右出栏。饲养2轮,每轮约为3个月(2009年4月上旬至7月中旬;2009年11月上旬至2010年1月下旬)。采用定时饲喂(8:00~8:30,16:30~17:00)和自由饮水。根据当前浙江省规模化养猪场养殖模式,猪舍内每天定时(8:30~9:00,17:00~17:30)干清粪2次(生物发酵床猪舍不清粪,于同一时间对发酵床进行翻混)。

1.3 猪舍恶臭采样与分析

根据文献[16~17]中的一级评价采样要求进行猪舍恶臭的采样及分析。用气体采样瓶采集猪舍恶臭样品,恶臭采样瓶的进气口与进风口垂直,保证样品均一性。正式采样期间,各猪舍恶臭样品每周采样一次,每次采集2个平行样品,每月采集4次。

恶臭样品带回嗅辨室,在24 h之内由6名合格(经培训)的嗅辨员进行嗅觉分析,测定各猪舍的恶臭浓度(无量纲)。本试验的恶臭采样点处于排风口附近,如图1b所示。

猪舍内外温湿度采用ZDR-20型温、湿度探头在线连续检测,设置在试验猪舍内近排风口处,距地面1.5 m,排风口的风速采用FYF-1型三杯式风向

风速仪检测,如图1b所示。

2 结果与分析

2.1 猪舍环境及恶臭浓度日变化

试验期间各猪舍的温湿度月均值如表1所示。猪舍恶臭排放属无组织排放源的连续排放,根据文献[18],猪舍恶臭污染的评估要求每隔2 h采样一次,取最大测定值。试验研究前期,将8:00~18:00分为5个时间段,每2 h采集2个恶臭平行样品进行嗅辨分析,研究各猪舍恶臭浓度的日变化情况,确定猪舍恶臭浓度最高时段。结果表明,各猪舍在下午清粪前(17:00左右)采集的恶臭浓度最高。

2.2 猪舍恶臭浓度及其与影响因子相关性

据2.1节试验结果,本文于恶臭浓度较高的时段(17:00左右),对猪舍恶臭采样分析,探讨各猪舍恶臭浓度与影响因子相关性。

表2为冷、暖季3个猪舍的恶臭浓度月均值,可见随着饲养时间及猪体重的增长,冷、暖两季猪舍的恶臭浓度均呈递增趋势。对各猪舍恶臭浓度数据进行t检验分析的结果显示各猪舍的恶臭浓度存在显著差异($p < 0.05$)。由表2可知,水泥实心地面猪舍恶臭浓度最高,全缝隙猪舍次之,生物发酵床猪舍最低,全缝隙猪舍与生物发酵床猪舍比水泥实心猪

表 1 猪舍的月平均温、湿度

Tab.1 Monthly mean temperature and relative humidity in pig rooms

月份	平均温度/℃			平均湿度/%		
	生物发酵床	水泥实心	全缝隙	生物发酵床	水泥实心	全缝隙
2009 年 5 月	26.4 ± 2.9	26.4 ± 2.3	27.1 ± 2.4	59.9 ± 10.3	58.4 ± 10.0	57.2 ± 9.8
2009 年 6 月	29.7 ± 2.1	29.7 ± 2.1	30.6 ± 2.2	71.0 ± 5.9	69.3 ± 6.2	66.9 ± 6.0
2009 年 7 月	30.5 ± 1.3	30.2 ± 1.4	30.7 ± 1.5	75.2 ± 5.2	74.9 ± 4.4	73.5 ± 4.2
2009 年 12 月	11.3 ± 2.5	11.3 ± 2.4	11.4 ± 2.5	76.3 ± 9.5	70.5 ± 10.1	68.8 ± 10.0
2010 年 1 月	11.0 ± 2.1	10.7 ± 2.0	11.4 ± 2.1	78.3 ± 6.9	70.1 ± 8.4	67.0 ± 7.3

舍分别低 20%、47%。水泥实心地面猪舍内猪的活动为排泄物的好氧消化提供有氧条件,有利于恶臭化合物的生成及挥发,因此恶臭浓度较高。全缝隙地面猪舍内,猪的活动使粪污漏至缝隙下,保持相对静态,易形成干硬外壳,抑制恶臭化合物挥发,因此恶臭浓度较低。生物发酵床猪舍的垫料与排泄物混合,一方面可吸附恶臭物质,另一方面垫料中洛东酵素内的纳豆芽孢杆菌和酵母菌所分解的蛋白酶、脂肪酶、纤维素酶、果胶酶等酶类,将猪排泄物中的有机物分解,并以 H₂O 和 CO₂ 的形式释放^[19],从而达到降低恶臭污染的目的。

表 2 育肥猪舍的月平均恶臭浓度

Tab.2 Monthly mean odor concentration in fattening pig rooms

月份	生物发酵床	水泥实心	全缝隙
2009 年 5 月	37.7 ± 15.2	145.3 ± 22.7	128.0 ± 12.1
暖季	2009 年 6 月	83.0 ± 23.9	242.3 ± 49.7
	2009 年 7 月	136.5 ± 49.9	294.9 ± 57.7
冷季	2009 年 12 月	60.5 ± 14.1	116.2 ± 34.9
	2010 年 1 月	73.6 ± 33.2	130.0 ± 63.8
			119.3 ± 34.5

猪舍恶臭浓度的影响因素复杂,如舍内温度、湿度、猪体重、通风方式、通风量等。试验期间,3 个猪舍采用机械通风且通风量保持一致,因此本文主要研究分析猪舍内温度、湿度、猪体重与恶臭浓度间的相关性。结果表明,猪舍恶臭浓度与舍内温度、猪体重呈显著正相关($p < 0.05$,图 2),猪舍恶臭浓度与相对湿度相关性不显著($p > 0.1$, $R^2 < 0.5$,图 2)。猪舍内温度越高、猪体重越大,恶臭浓度越高。这与文献[8,20]的研究结果相吻合。

综上可知,猪舍恶臭浓度主要受舍内温度、猪体重影响(通风量恒定)。一定通风量条件下,各猪舍恶臭浓度与温度、猪体重间的线性相关性表示为

$$C_{odor} = a + bT_i + cW \tag{1}$$

式中 C_{odor} ——恶臭浓度
 T_i ——猪舍内温度,℃

W ——单舍猪的总体重,kg
 a 、 b 、 c 为 SPSS 分析数据产生的常量,见表 3。

表 3 各猪舍式(1)中的常数值

Tab.3 Constants in equation (1) for three pig rooms

猪舍	a	b	c	R^2	p
生物发酵床	-77.18	2.79	0.93	0.731	<0.001
水泥实心	-180.95	8.07	1.85	0.844	<0.001
全缝隙	-77.54	3.15	1.18	0.826	<0.001

2.3 猪舍恶臭排放系数

GB/T 14675—1993^[16]中定义恶臭浓度单位无量纲,为计算恶臭排放系数,将其计作欧美恶臭单位:OU/m³^[22]。恶臭排放系数的计算方法如下^[4~5,22]:

恶臭排放率(E_{odor} ,单位:OU/s)

$$E_{odor} = C_{odor}Q \tag{2}$$

猪舍排风率(Q ,单位:m³/s)

$$Q = A_e v_e \tag{3}$$

则恶臭排放系数可以表示为:

基于单位地板面积(单位:OU/(m²·s))

$$F_{odor} = E_{odor}/A_f \tag{4}$$

基于单位猪体(单位:OU/(pig·s))

$$F_{odor} = E_{odor}/N \tag{5}$$

基于单位猪体单位(单位:OU/(AU·s),每 1 AU 表示猪体总体重与 500 kg 的比值为 1)

$$F_{odor} = 500E_{odor}/W \tag{6}$$

式中 A_e ——排风口面积,m²
 v_e ——排风口风速(排风口截面上 5 个点的风速平均值),m²/s
 A_f ——地板面积,m²
 N ——单舍饲养量,pig

由式(2)~(6)计算得到各猪舍的恶臭排放系数如表 4 所示。对比国外育肥猪舍的恶臭排放系数(表 5)可见,不同地面结构猪舍的恶臭排放系数差异显著。由于检测标准、方法等的差异,国外的研究结果也存在差异。Heber 等^[9]研究某机械通风全缝

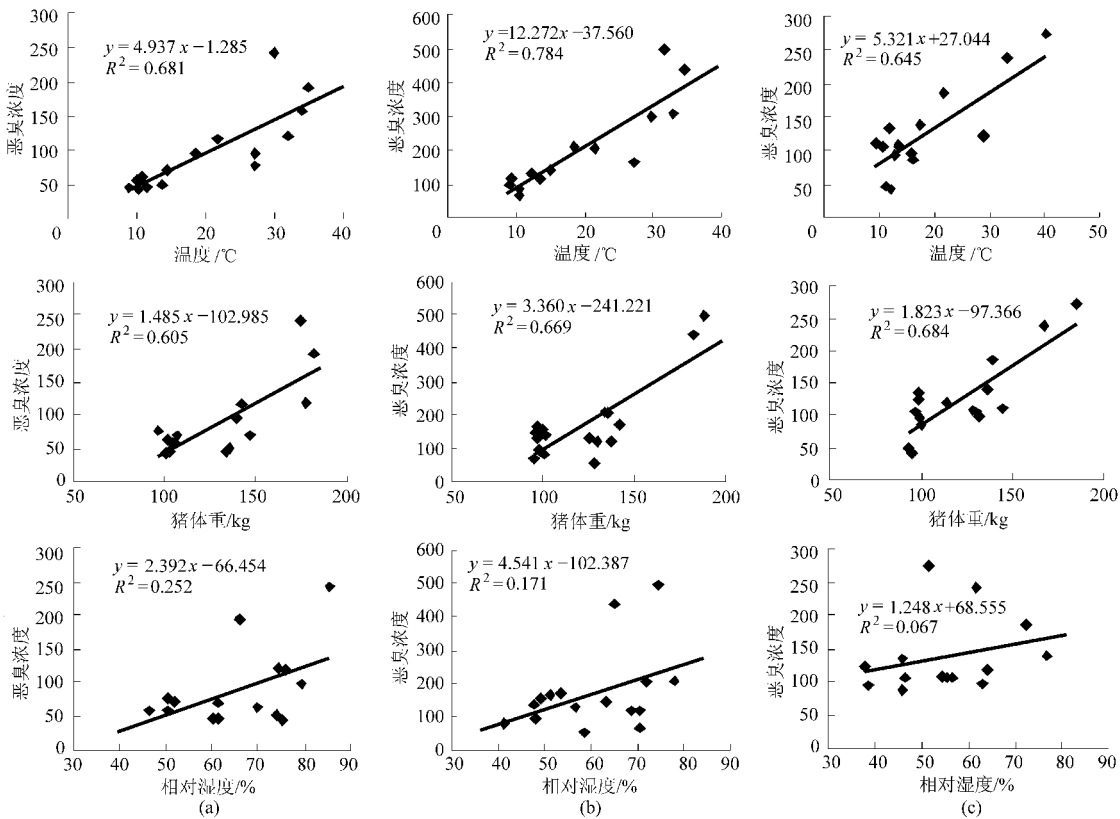


图2 育肥猪舍恶臭浓度与舍内温度、相对湿度、猪体重相关性

Fig. 2 Correlation of odor concentration and indoor temperature, pig weight in fattening pig rooms

(a) 生物发酵床 (b) 水泥实心 (c) 全缝隙

隙地面育肥猪舍4~9月的恶臭排放系数达到5.0 OU/(m²·s), Jacobson 等^[10]、Zhu 等^[6]研究机械通风全缝隙育肥猪舍的恶臭排放系数分别为13.9、8.6 OU/(m²·s)。可见, 本文的恶臭排放数据对比国外研究结果相对偏低。这与国内外的清粪方式及频率有较大关系, 国外全缝隙地面的清粪周期都在

7 d至3个月以上, 国内基本上是每日清粪1~2次, 因此恶臭排放率较低。

Hesse 等^[23]研究实心地面猪舍的恶臭排放系数为7~148 OU/(AU·s), 与本研究结果相近。而垫料床育肥猪舍的恶臭排放系数为8~31 OU/(AU·s), 比本文结果低。国外垫料床猪舍与国内生物发酵床

表4 猪舍恶臭排放系数

Tab. 4 Odor emission factors of pig rooms

参数	生物发酵床	全缝隙	水泥实心
基于单位地板面积恶臭排放系数/OU·(m ² ·s) ⁻¹	3.39 ± 3.33	3.70 ± 1.31	4.33 ± 2.39
基于单位猪体恶臭排放系数/OU·(pig·s) ⁻¹	5.08 ± 5.00	5.54 ± 1.97	6.50 ± 3.58
基于单位猪体单位恶臭排放系数/OU·(AU·s) ⁻¹	35.68 ± 26.74	43.73 ± 15.23	52.02 ± 27.09

表5 国外育肥猪舍恶臭排放系数

Tab. 5 Odor emission factors review of fattening pig buildings

地面类型	畜舍环境	猪数目/pig	排放系数	检测方法	参考文献
全缝隙	湿帘、机械通风 (深坑)	1 000	5.0 OU/(m ² ·s)	AC'SCENT 动态嗅觉仪 (是/否选择式)	[9]
	机械通风(深坑)		13.9 OU/(m ² ·s)		[10]
	机械通风(深坑)	550	8.6 OU/(m ² ·s)	AC'SCENT 动态嗅 觉仪(强迫选择式)	[6]
水泥实心			7~148 OU/(AU·s)		[23]
垫料床(稻草、 麦秆等)	30 cm, 无微生物 发酵		8~31 OU/(AU·s)		[23]

猪舍相比,存在垫料床深度与垫料成分的差异,国内垫料床深度为60~80 cm,国外为30 cm。国内垫料由锯末、米糠及微生物发酵而成,国外通常直接使用稻草或麦秆为床体,综上国内生物发酵床猪舍的恶臭排放率相对较低。

3 结束语

3种不同地面结构育肥猪舍的恶臭研究结果表明:地面结构对恶臭浓度影响显著($p < 0.05$),其中

传统水泥实心地面猪舍的恶臭浓度最高,全缝隙地面猪舍次之,生物发酵床猪舍恶臭浓度最低,全缝隙地面猪舍与生物发酵床猪舍比水泥实心地面猪舍分别低20%、47%;舍内温度、猪体重与猪舍恶臭浓度呈显著相关性($p < 0.05$),舍内相对湿度与恶臭浓度间无显著相关性($p > 0.1, R^2 < 0.5$);生物发酵床、全缝隙地面、水泥实心地面的育肥猪舍恶臭排放系数分别为 (3.39 ± 3.33) 、 (3.70 ± 1.31) 、 (4.33 ± 2.39) OU/($\text{m}^2 \cdot \text{s}$)。

参 考 文 献

- 赵辉玲,吴东,程广龙. 畜牧业生产中的恶臭及除臭技术应用[J]. 饲料研究, 2004(1): 33~36.
Zhao H L, Wu D, Cheng G L. Odor formation and elimination in animal production[J]. Feed Research, 2004(1): 33~36. (in Chinese)
- 孙俊民,刘惠永,姚强,等. 可吸入颗粒物中超细颗粒物的治理与开发利用[C]//全国城市空气污染预报及污染防治学术会议论文集. 贵州, 2001: 564~567.
- Radon K, Schutze A, Ehrenstein V, et al. Environmental exposure to confined animal feeding operations and respiratory health of neighboring residents[J]. Epidemiology, 2007, 18(3): 300~307.
- Amon M, Dobeic M, Misselbrook, et al. A farm scale study on the use of de-odorize for reducing odor and ammonia emissions from intensive fattening piggeries[J]. Bioresource Technology, 1995, 51(23): 163~169.
- Verdoes N, Ogink N W M. Odor emissions from pig houses with low ammonia emission[C]//Proc. International Symposium on Ammonia and Odor Control from Animal Production Facilities. AB Rosmalen, the Netherlands: NVTL, 1997, 1: 317~325.
- Zhu J, Jacobson L, Schmidt S, et al. Daily variations in odor and gas emissions from animal facilities[J]. Applied Engineering in Agriculture, 2000, 16(2): 153~158.
- Guo H, Dehond W, Agnew J, et al. Daytime odor emission variations from various swine barns[J]. Transactions of the ASABE, 2007, 50(4): 1365~1372.
- Guo H Q, Dehond W, Agnew J, et al. Annual odor emission rate from different types of swine production buildings[J]. Transactions of the ASABE, 2006, 49(2): 517~525.
- Heber A J, Bundy D S, Lim T, et al. Odor emission rates from swine finishing buildings[C]//Animal Production Systems and the Environment: An International Conference on Odor, Water Quality, Nutrient Management and Socioeconomic Issues I. Iowa State University, Ames, Iowa: ASAE, 1998: 305~310.
- Jacobson L D, Paszek D, Niclloai R E, et al. Odor and gas emissions from animal manure storage units and buildings[C]. ASABE Paper No. 994004, 1999.
- 赵晨曦,兰时乐,禹逸君,等. 鸡粪除臭微生物菌群的筛选和应用[J]. 湖南农业科学, 2005(1): 68~70.
Zhao C X, Lan S L, Yu Y J, et al. Microorganisms screened from chicken manure and their applications[J]. Hunan Agricultural Sciences, 2005(1): 68~70. (in Chinese)
- 黄灿,唐新燕,彭绪亚. 猪排泄物恶臭产生与控制的微生物学原理[J]. 中国生态农业学报, 2009, 17(4): 823~828.
Huang C, Tang X Y, Peng X Y. Microbiological mechanism of swine excreta odor production and control[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2009, 17(4): 823~828. (in Chinese)
- 韩立军,刘艳琴,张秀文,等. 蚯蚓粪对家禽粪便堆制过程中臭气含量的影响[J]. 家畜生态学报, 2007, 28(2): 72~74.
Han L J, Liu Y Q, Zhang X W, et al. Influence of vermicompost on the odor production during poultry manure composting[J]. Acta Ecologiae Animalis Domastici, 2007, 28(2): 72~74. (in Chinese)
- 刘滨疆,钱宏光,李旭英. 空间电场对封闭型畜禽舍空气微生物净化作用的监测[J]. 中国兽医杂志, 2005, 41(8): 20~22.
Liu B J, Qian H G, Li X Y. The effect monitoring of space electric field on air microbial purification in enclosed animal building[J]. Chinese Journal of Veterinary Medicine, 2005, 41(8): 20~22. (in Chinese)
- 汪开英,代小蓉,李震宇,等. 不同地面结构的育肥猪舍NH₃排放系数[J]. 农业机械学报, 2010, 41(1): 163~166.
Wang K Y, Dai X R, Li Z Y, et al. NH₃ emission factors of fattening pig buildings with different floor systems[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(1): 163~166. (in Chinese)

Autonomous Robots, 2002, 13(3): 241 ~ 258.

- 11 Masateru Nagata, Cui Yongjie. Study on cartesian-type harvesting robot for strawberry[C]//Bio-Robotics III Preprints of 3rd IFAC International workshop on Bio-Robotics, Information Technology and Intelligent Control for Bioproduction Systems. Sapporo, Japan:IFAC;2006; 266 ~ 270.
- 12 Tarrio P, Bernardos A M, Jose R, et al. A harvesting robot for small fruit in bunches based on 3-D stereoscopic vision[C]//Computers in Agriculture and Natural Resources, 4th World Congress Conference. FL, USA: IEEE, 2006; 24 ~ 26.
- 13 Guo Feng, Cao Qixin, Masateru, et al. Fruit detachment and classification method for strawberry harvesting robot [J]. International Journal of Advanced Robotic Systems, 2008, 5(1):41 ~ 48.
- 14 张铁中,周天娟. 草莓采摘机器人的研究: I. 基于 BP 神经网络的草莓图像分割[J]. 中国农业大学学报, 2004, 9(4):65 ~ 69.
Zhang Tiezhong, Zhou Tianjuan. Strawberry harvesting robot: I. segmentation of strawberry image by BP neural network [J]. Journal of China Agricultural University, 2004, 9(4):65 ~ 68. (in Chinese)
- 15 张铁中,陈利兵,宋健. 草莓采摘机器人的研究:基于图像的草莓重心位置和采摘点的确定[J]. 中国农业大学学报, 2005,10(1):48 ~ 51.
Zhang Tiezhong, Chen Libing, Song Jian. Strawberry harvesting robot: II. images based identifications of strawberry barycenter and plucking position [J]. Journal of China Agricultural University, 2005, 10(1):48 ~ 51. (in Chinese)
- 16 张铁中,林宝龙,高锐. 水果采摘机器人视觉系统的目标提取[J]. 中国农业大学学报, 2004,9(2):68 ~ 72.
Zhang Tiezhong, Lin Baolong, Gao Rui. Object extraction for the vision system of fruit picking robot [J]. Journal of China Agricultural University, 2004, 9(2):68 ~ 72. (in Chinese)
- 17 张凯良. 基于机器视觉的草莓采摘机器人关键技术研究[D]. 北京:中国农业大学,2009.
Zhang Kailiang. Study on the key technology of the strawberry picking robot based on machine vision [D]. Beijing: China Agricultural University, 2009. (in Chinese)
- 18 张凯良,杨丽,张铁中. 草莓采摘位置机器视觉与激光辅助定位方法[J]. 农业机械学报,2010,41(4):151 ~ 156.
Zhang Kailiang, Yang Li, Zhang Tiezhong. Object locating method of laser-assisted machine vision for strawberry harvesting [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(4):151 ~ 156. (in Chinese)

(上接第 190 页)

- 16 GB/T 14675—1993 空气质量 恶臭的测定 三点比较式臭袋法[S].
GB/T 14675—1993 Air quality—determination of odor—triangle odor bag method [S]. (in Chinese)
- 17 HJ2.2—2008 环境影响评价技术导则 大气环境 [S].
HJ2.2—2008 Guidelines for environmental impact assessment—atmospheric environment [S]. (in Chinese)
- 18 GB 14554—1993 恶臭污染物排放标准 [S].
GB 14554—1993 Emission standard for odor pollutants [S]. (in Chinese)
- 19 陈永明,张益书. 洛东生物发酵床零排放养猪技术概述 [J]. 猪业科学, 2008(9): 42 ~ 44.
Chen Y M, Zhang Y S. Overview of pig raising technologies inbuildings with Luo Dong bio-fermentation system [J]. Swine Industry Science, 2008(9): 42 ~ 44. (in Chinese)
- 20 Jongebreur A A, Monteny G J, Ogink N W M. Livestock production and emission of volatile gases [C]//International Symposium on Gaseous and Odour Emissions from Animal Production Facilities. Horsens, Denmark: CIGR, EurAgEng, NJF, 2003: 11 ~ 30.
- 21 EN13725: 2003. Airquality-determination of odour concentration by dynamic olfactometry, Committee for the European Normalization (CEN) [S].
- 22 Jacobson L D, Janni K A, Johnston L J. Odor and gas reduction from sprinkling soybean oil in a pig nursery [C]//ASAE Annual Meeting, St. Joseph, Mich: ASAE, 1998. Paper No. 98 - 4125.
- 23 Hesse D, Zerbe F, Mannebeck H, et al. Weiterentwicklung von mastschweinehaltungsverfahren mit und ohne einstreue im hinblick auf tier und umweltschutz [C]//Beiträge zur 3. Internationalen Tagung: Bau, Technik und Umwelt in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung. Kiel, Germany, 1997: 130 ~ 137.