

环保型鸡粪快速腐熟生产有机肥装置的研制与应用

刘雪兰 (山东省农业科学院家禽研究所, 山东济南 250023)

摘要 针对目前堆肥发酵法和烘干法将鲜鸡粪制成有机肥所普遍存在的恶臭气体污染环境、生产周期长、耗费大量人力等问题, 研制了1种环保型鸡粪快速腐熟生产有机肥的装置。该装置的核心部件是共振活化和腐熟室, 共振活化管理来生产活化水, 活化水能激活增殖微生物在好氧环境下对有机物的代谢速率, 让鸡粪在较短时间内腐熟; 腐熟室设有增氧和高效搅拌装置, 为微生物的酵解作用提供充足的氧气。结果表明, 使用该装置7d即可使鸡粪堆肥腐熟, 腐熟鸡粪有机质含量91.2%、C/N比约为18.80, 大肠菌值MPN为0.04, 蛔虫卵死亡率为99.6%, 且腐熟室内无臭味, NH_3 和 H_2S 的浓度分别为 4.20 mg/m^3 和 1.58 mg/m^3 。因此, 该装置的研制成功提供了一种能使鸡粪在较短时间内快速腐熟成优质有机肥料, 并且能够节省人力与时间, 减少环境污染。

关键词 有机肥生产装置; 共振活化装置; 鸡粪

中图分类号 S817.12⁺⁴ **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2013)24-09985-03

Design and Experiment on Chicken Manure Production Equipment of Environment Friendly Type

LIU Xue-lan (Poultry Institute, Shandong Academy of Agricultural Sciences, Jinan, Shandong 250023)

Abstract In accordance with current problems such as odor pollution, long production period, consumption of a large amount of manpower and so on existing in chicken manure fermentation, an environment friendly type ferment chicken manure was designed, the key parameters of the equipment were wateractivater and fermenting cellar, resonator made activated water, it could improve obviously the biodegradation rate of chicken manure, the aerator could provide enough oxygen to microbes, and the agitator could make oxygen evenly distributed across the chicken manure in fermenting cellar. The test showed that this equipment is high-efficiency, it only takes 7 days to make the chicken manure achieve the decomposed requirement, the organic matter content of composted chicken manure was 91.2%, C/N ratio was 18.8, MPN was 0.04, mortality of ascarid egg was 99.6%, concentration of ammonia and sulfureted hydrogen were 4.20 mg/m^3 and 1.58 mg/m^3 , furthermore, there were no offensive smell in the fermenting cellar. Therefore, the study can provide a pollution-free, high-efficiency, manpower saving fermentation equipment for organic production in agriculture area.

Key words Organicfertilizer production equipment; Resonant activation device; Chicken manure

鸡粪中的有机质含量比猪、牛等大家畜排泄物中含量高, 未经过恰当处理会产生大量的 NH_3 、 H_2S 、 CO 、 CH_4 、 CO_2 、 NO_2 等有害气体, 这些气体会引起人咳嗽、呼吸浅表、头痛、恶心、呕吐、胃部不适、食欲减退、失眠、眼睛以及鼻部和喉部受刺激、烦恼、沉郁, 危害人体健康, 并加剧空气污染和引起地球温室效应, 已经成为一种社会公害, 引起了全社会的广泛关注^[1-4]。

目前, 国内已有多种鸡粪处理方法, 如堆肥发酵法、高温干燥法、热喷法、动态充氧发酵法、沼气法、太阳能大棚发酵干燥法等, 这些方法各有优缺点^[5]。传统堆肥发酵是将鸡粪在开放性的发酵槽中进行约3个月的长期堆肥腐熟, 在此期间微生物分解鸡粪中的有机质产生大量 NH_3 、 H_2S 等恶臭气体造成恶臭弥漫, 严重污染环境, 在恶臭扩散的同时堆肥中氮养分大量损失, 从而降低了堆肥的农用价值; 干燥法、热喷法、动态充氧发酵法和太阳能大棚发酵干燥法的能耗过高、废气又存在二次污染; 沼气法产生的大量沼液和沼渣仍然会对环境造成污染。国外对鸡粪的处理方法概括起来主要分为3类: 干燥法、发酵法和发酵干燥法^[5]。干燥法以滚筒式烘干机为主, 如意大利、美国的单滚筒或三滚筒烘干机; 发酵法, 如芬兰的“Quanter-Composter”、英国的滚筒发酵干燥机等; 发酵干燥法则以日本的翻层式发酵干燥装置为代表。由于国外的电力工业比较发达, 电价较低, 各国大多以干燥法

为主, 而我国能源比较紧张, 因此干燥法不适合我国国情。其他处理方法工艺比较复杂, 要求严格, 生产成本相对较高, 且会造成二次污染, 因此也不是最佳方法。针对我国目前鸡粪处理的现状, 笔者设计了1种环保型鸡粪快速腐熟生产有机肥装置, 使鸡粪在较短时间内快速腐熟成优质有机肥料, 其结构简单, 操作使用方便, 劳动强度低, 生产周期短, 效率高, 解决了现有技术中存在的问题, 避免了对环境的污染。

1 总体结构与工作原理

1.1 总体结构 从图1可以看出, 鸡粪快速腐熟生产有机肥装置由活水器、活化营养液发生器、抽液泵、腐熟室、抽浆泵、旋转烘干装置、输送机、旋风分离装置、集尘器组成。活化营养液发生器由营养液灌、搅拌装置组成; 腐熟装置由腐熟灌、搅拌装置、喷洒装置、空气压缩机组成; 旋转烘干装置由旋转筒体、电机、进料斗、热风供应装置组成。

1.2 工作原理 使用时, 首先打开腐熟罐的加料口上的密封盖, 将一定量的鸡粪加入到腐熟罐中, 盖上密封盖密封罐体。然后, 将水经管道送入活水器中进行活化处理, 经活水器处理后得到的小分子活化水体经管道进入活化营养罐中。在活化营养罐中, 小分子活化水体与从营养液注入口加入的营养素混合, 在活化搅拌装置的搅拌作用下调配组成活化营养液, 调配好的活化营养液经抽液泵送至腐熟罐中的喷洒装置, 经喷洒装置均匀地喷洒在罐内的鸡粪上。在喷洒装置喷洒活化营养液的同时, 空气压缩机启动经管道从压缩气体入口向腐熟罐中连续供氧, 腐熟搅拌装置搅拌罐内的鸡粪, 使罐内鸡粪与活化营养液充分混合, 使微生物能在有氧环境下对鸡粪中的有机物质进行代谢处理, 混合均匀后停止搅拌静

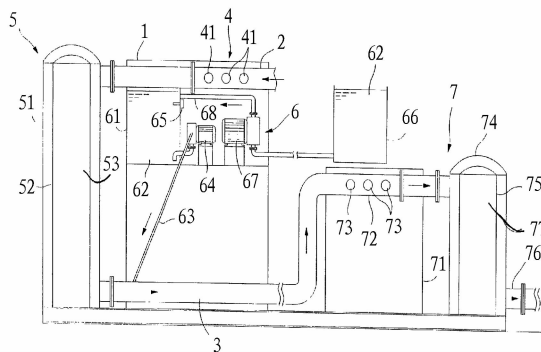
基金项目 国家肉鸡产业技术体系项目(CARS-42-G21); 济南市高校院所技术创新项目(201302053)。

作者简介 刘雪兰(1974-), 女, 山东成人, 副研究员, 从事家禽生态营养与养殖环境控制, E-mail: liuxuelan7411@sina.com。

收稿日期 2013-07-24

置腐熟。腐熟好的鸡粪浆液经抽浆泵通过管道送至旋转烘干装置的进料斗内,从进料斗的下端出口进入旋转筒体内。浆料进入筒体内部时,与进入筒体内的热风成顺流或逆流接触进行有效干燥,干燥后鸡粪含水量约为35%。完成干燥的物料从旋转筒体出料端口出料,经物料输送机送至旋风分离器的进料口。经进料口送入旋风分离器的物料,在旋风分离器中受到旋风的涡流作用,颗粒大而质量重的鸡粪物料会沿其内壁落入底部,而物料上附着的小粉尘颗粒因质量轻被送至旋风分离器上部,经集尘口通过管道送至集尘器中收集。落入旋风分离器底部的鸡粪物料即为合格的有机肥料。旋风分离器在对鸡粪物料进行筛选分离的同时,其中的旋风也会对高温的鸡粪物料产生冷却作用,使鸡粪冷却到室温。当分离结束后,可打开旋风分离器底部的出料口,将合格有机肥料输出装袋。

红外线的第2强化共振管,第2强化共振管连接将活化水导出的水管。



注:1.机壳;2.进水管;3.出水管;4.加热单元;5.第1共振单元;6.加液单元;7.第2共振强化单元。

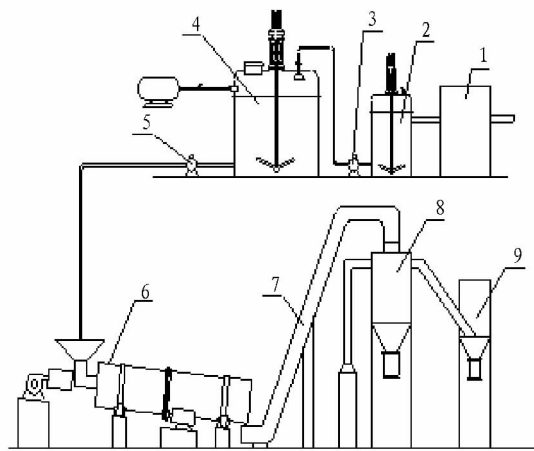
图2 活水器结构

2.1.3 活水器的工作原理。从外界导入进水管中的水体经第1加热单元加热到约35~40℃后后送到共振管中,进行远红外线(由经高温锻烧的含有氧化铝的矿石产生)照射。此时,水体中水分子在受远红外线照射的瞬间,水分子团(即通常由5个以上的水分子以网目状结合成的群状水分子)的水分子间的羟基键会与远红外线产生共振作用,水分子即能将远红外线的能量有效地共振吸收,水分子因动能增加而处于快速振动的激发状态,致使部分羟基键断裂,大水分子团则变成体积小、比重大且呈最佳活力状的小水分子团(即群状水分子的水分子结合数减少),对细胞膜的渗透能力因而大大增加,相对提升水分子输送养分与废物排出的能力。另外,当水分子在与远红外线产生共振而快速振动时,能将所吸收的远红外线能量转换成热能,并以水分子为载体而贮存在其中。因此,经过共振管的远红外线照射,使水体的水分子体积变小且同时吸收储存远红外线的强热能量而温热活化,活化水体持续导入出水管内,同时加入微量元素混合液,以维持导送中的活化水体中水分子结构稳定性,避免小水分子重新群聚而还原成大水分子。然而,活化水体在持续载送过程中可能会因温度降低而造成部分小水分子还原成大水分子,因此,将上述活化水体导入入水管内,利用第2加热单元予以加热,而后再配合强化共振管的远红外线照射,让活化水体中还原的大水分子再次因共振作用而切割成小水分子,让活化水体有效维持在最佳活性状态。

2.2 腐熟室的结构设计及工作原理

2.2.1 腐熟室的结构设计。从图3可以看出,腐熟装置包含腐熟罐,在腐熟罐内部设有腐熟搅拌装置,在腐熟罐的顶部设有加料口,加料口上设有密封盖,在腐熟罐内侧顶部设置的喷洒装置通过管道经抽液泵与活化营养液装置的出液口相连,在腐熟罐的上部一侧设有压缩气体入口,压缩气体入口经管道与空气压缩机相连。

2.2.2 腐熟室的工作原理。使用时,首先打开腐熟罐的加料口上的密封盖,将一定量的鸡粪加入到腐熟罐中,调配好的活化营养液经抽液泵送至腐熟罐中的喷洒装置,经喷洒装置均匀地喷洒在罐内的鸡粪上。开动腐熟搅拌装置,让罐内



注:1.活水器;2.活化营养液发生器;3.抽液泵;4.腐熟室;5.抽浆泵;6.旋转烘干装置;7.物料输送机;8.旋风分离装置;9.集尘器。

图1 鸡粪快速腐熟生产有机肥装置结构

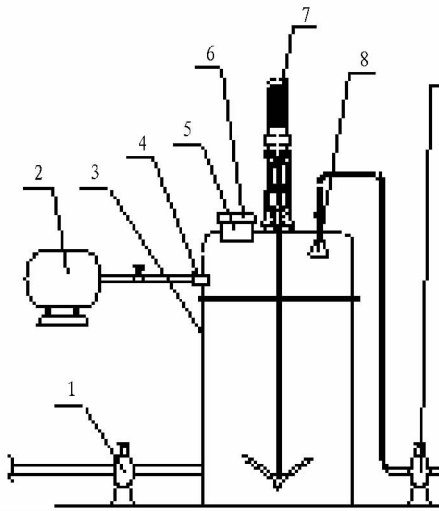
2 关键部件及工作原理

2.1 活水器的结构设计及工作原理

2.1.1 活水器设计的目的。为了提高鸡粪发酵剂对鸡粪的发酵效率,节约鸡粪腐熟时间,提高腐熟效果,设计了活水生产装置。用活化水配成的营养液(好氧微生物制剂)中水分子的细胞膜渗透能力强,能够加速微生物体内细胞所需养分的供给与废弃物的输出,并能将其能量传递给微生物,来温暖、活化组织微生物细胞,促进微生物整体新陈代谢,并供给足够营养成分,使微生物快速生长繁殖,能提高其对鸡粪中有机物的分解效率,使鸡粪能在短时间内快速呈腐熟状态。

2.1.2 活水器的结构设计。从图2可以看出,活水器由机壳、共振活化单元和加热单元构成。共振活化单元包括置于机壳内进水管和出水管、串联于进水管和出水管中间的能发射红外线的共振管,进水管处设有第1加热单元,含有微量元素的加强液的加入器出口通至出水管,共振活化单元除第1共振活化装置外还有1个共振强化单元即第2共振活化装置,第1共振活化装置的导水管与第2共振活化装置的出水管连通,加热管设置于导水管处,导水管连至于能释放

鸡粪与活化营养液混合均匀,同时启动空气压缩机经管道从压缩气体入口向腐熟罐中连续供氧一段时间,然后盖上密封盖密封罐体,静置腐熟。



注:1.抽浆泵;2.空气压缩机;3.腐熟罐;4.压缩气体入口;5.加料口;6.密封盖;7.腐熟搅拌装置;8.喷洒装置。

图3 腐熟室结构

2.2.3 腐熟室的结构参数设计。

2.2.3.1 腐熟室的体积设计和计算。采用锥底圆柱形腐熟室,公称体积是指罐的圆柱体的体积和底部封头体积之和。其中,圆锥形底部封头体积可用以下公式计算:

$$V_1 = \frac{3}{\sqrt{24}}\pi D^2 h \quad (1)$$

式中, D 表示圆柱形罐体的直径(m); h 表示圆锥形底部封头的高度;圆锥形底封头的锥角采用 60° 。

锥形罐罐体体积为:

$$V_2 = \frac{\pi}{4}D^2 H \quad (2)$$

腐熟室的公称体积为:

$$V = V_1 + V_2 = \frac{3}{\sqrt{24}}\pi D^2 h + \frac{\pi}{4}D^2 H \quad (3)$$

设腐熟室的公称体积为 360 m^3 ,装料量为腐熟室的 85% , $H = 4D$, $h = \frac{1}{4}D$

则可求得 $D = 4.5 \text{ m}$, $H = 4D = 18 \text{ m}$, $h = \frac{1}{4}D = 1.125 \text{ m}$ 。

2.2.3.2 转子的设计与计算。混合过程中对各种物料起混合作用的主要是转子,其结构型式直接影响到混和效果。采用三层螺旋的结构型式,其特点是最内层的是转子轴上的满面螺旋,中层与外层是双头带状螺旋。这种结构的转子使物料在轴心部分与外层沿同一方向运动,而中间的环状层的物料则沿相反方向运动,因此腐熟室内活化营养液与鸡粪得到充分的混合。转子外径 D' 可由腐熟室圆柱形罐体的直径 D 及转子侧向工作间隙 δ 计算出:

$$D' = D - 2\delta \quad (4)$$

目前,国内多数混合机的工作间隙 δ 一般为 $5 \sim 10 \text{ mm}$,

设计 δ 为 8 mm 。

为了在获得满意的混合效果的同时降低动力消耗,搅拌时螺旋叶片作用在鸡粪上的离心力应当低于鸡粪的自身重力,即:

$$m\omega^2 R < mg \quad (5)$$

式中, R 为螺旋叶片的半径, ω 为螺旋叶片的角速度。

其中, $\omega = \frac{2\pi n}{60}$,将其带入式(5),整理得到转子的最高临界转速为:

$$n_{\text{临}} = \frac{42.298}{\sqrt{D'}} \quad (6)$$

研究表明,转子线速度的范围一般是 $1 \sim 2.26 \text{ m/s}$ 。可以在选定转子最大线速度 v 的前提下,根据转子外径来计算混合机的转速,即

$$n = \frac{60v}{\pi D'} \quad (7)$$

3 应用试验

利用该装置进行鸡粪的腐熟作业,首先将鸡粪堆放到腐熟室中,开启活水器将生产用水活化,用活化水配制活化营养液(含有供微生物繁殖的多种营养素)并添加到鸡粪中,添加量为 2% ,同时开动搅拌装置,使鸡粪和活化营养液混合均匀,再开动空气压缩机,连续 10 min 供氧气给鸡粪,让微生物在有氧环境下对鸡粪中的有机物质进行代谢分解,然后封盖发酵,每天增氧 10 min ,搅拌翻动鸡粪 10 min 。 7 d 后,打开腐熟室的密封盖,采气体样和腐熟鸡粪样,检测腐熟室内的 NH_3 、 CH_4 的浓度、鸡粪中大肠菌值 MPN 、蛔虫卵死亡率。然后,进行旋转烘干和旋风分离,获得合格的鸡粪有机肥,采集一定的样品测定鸡粪肥的有机质含量、 C/N 比。结果表明,腐熟室内 NH_3 浓度为 4.20 mg/m^3 , H_2S 浓度为 1.58 mg/m^3 ,有机质含量为 91.20% , C/N 值为 18.80 , MPN 值为 0.04 ,蛔虫死亡率为 99.60% 。

判别堆肥腐熟程度的指标很多^[6-8],但国际上至今没有统一的标准。 C/N 值是常用的堆肥腐熟评估方法之一。理论上 C/N 降至 20 以下时堆肥达到腐熟^[9-10]。 MPN 值通常也是作为堆肥腐熟的重要指标之一^[11]。 MPN 值为 0.04 ,完全符合我国粪便无害化卫生标准规定(堆肥 MPN 达到 $0.1 \sim 0.01$ 时符合无害化标准)。蛔虫卵死亡率已经达到 99.6% ,完全符合我国粪便无害化卫生标准(GB 7959-87)规定(蛔虫卵死亡率在 $95\% \sim 100\%$ 范围内达到无害化标准)。

4 小结

(1)环保型鸡粪快速腐熟生产有机肥装置采用活水器生产的活化水用于鸡粪发酵腐熟,提高了鸡粪中有机物的分解效率,使鸡粪能在较短时间内快速呈腐熟状态。

(2)通过向腐熟室内充入大量的氧气并伴随搅拌装置对鸡粪和活化营养液的搅拌,使腐熟室内鸡粪中的溶解氧能够均匀分布并始终满足好氧微生物的需要,避免因氧气耗竭或不足而引起厌氧发酵的发生,从而避免了氨气、硫化氢等有害气体的产生。

(下转第 9990 页)

发现 NP 蛋白的 N 端区域到 401 残基是高度保守的, NP 蛋白的变异主要发生在 C 端区域。新城疫病毒分离株 L 基因和 NP 基因的进化分析结果表明新城疫病毒存在两个主要群, 一群包括 1970 年前分离于北美的有毒株和疫苗株, 另一群包含从世界各地分离的有毒株^[23]。

4 小结

近年来新城疫疾病的暴发给我国和其他各国的养禽业造成了巨大的损失, 并对食品安全及人类的健康造成了巨大的威胁, 其病毒毒力的演化趋势也是各国在研究过程中重点的研究对象, 只有分析出病毒所要变异的趋势, 判断出其毒力强弱的变化, 才可以更好地预防其发生以及当其发生时更好地控制其传播。影响病毒毒力最根本的因素在于其自身蛋白基因的影响, 而这其中最主要的蛋白基因就是 F 基因和 HN 基因。近年来世界各国的研究人员通过运用分子生物学方法对新城疫病毒主要的蛋白基因即 F 基因和 HN 基因进行了全面而深入的研究, 也获得了一些成果, 并且很多研究人员应用这些成果制作出了相应的疫苗, 在一定程度上降低了新城疫疾病所带来的损失。但是由于新城疫病毒变异的不确定性也给研究人员带来了一定的困难, 同时又由于外界环境因素的影响使得对新城疫病毒的控制更是难上加难。因此, 对有关新城疫疾病发生的世界各国而言, 只有掌握该病毒毒力的演化趋势, 才可以更清楚地判断出其新变异株的由来, 才能进一步防控该病的发生。

参考文献

- [1] DE LEEUW O, PEETERS B. Complete nucleotide sequence of Newcastle disease virus: evidence for the existence of a new genus within the subfamily Paramyxovirinae [J]. Gen Virol, 1999, 80: 131-136.
- [2] QIN Z, SUN L, MA B, et al. F gene recombination between genotype I and VII Newcastle disease virus [J]. Virus Research, 2008, 131(2): 299-303.
- [3] ALEXANDER D J. Report on avian influenza in the Eastern Hemisphere during 1997-2002 [J]. Avian Diseases, 2003, 47(3): 792-797.
- [4] 王友令, 杨金兴, 袁小远, 等. 新城疫 GM2 分离株纯克隆纯化及毒力测定 [J]. 浙江农业学报, 2009, 21(6): 565-568.
- [5] CALNEK B W, BARNES H J, BEARD C W, et al. Diseases of poultry [M]. 10th ed. Iowa: Iowa State University Press, 1997: 697-706.
- [6] 张晓东. 新城疫病毒 La Sota 克隆株的筛选与全长 cDNA 克隆的构建 [D]. 北京: 中国农业科学院, 2009.
- [7] 殷震, 刘景华. 动物病毒学 [M]. 2 版. 北京: 科学出版社, 1997: 744.
- [8] 黄勇. 新城疫病毒的演化 [J]. 养禽与禽病防治, 2006(8): 6-8.
- [9] TAKAKUWA H, ITO T, TAKADA A, et al. Potentially virulent Newcastle disease viruses are maintained in migratory water-fowl population [J]. Jpn J Vet Res, 1998, 45(4): 207-215.

- [10] SHENGQING Y, KISHIDA N, ITO H, et al. Generation of velogenic Newcastle disease viruses from a nonpathogenic water-fowl isolate by passing in chickens [J]. Virology, 2002, 301(2): 206-211.
- [11] 秦卓明, 王友令, 徐怀英. 新城疫病毒的流行和毒力演变趋势 [J]. 动物医学进展, 2007, 28(2): 58-62.
- [12] 于圣青, 丁铲, NORIKO KISHIDA, 等. 新城疫病毒某水禽株经鸡体传代后由非致病型转变为速发型的研究 [J]. 中国预防兽医学报, 2003, 25(1): 59-64.
- [13] HAN G Z, HE C Q, DING N Z, et al. Identification of a natural multi-recombinant of Newcastle disease virus [J]. Virology, 2008, 371(1): 54-60.
- [14] SENTHURAN S, VIJAYARANI K, KUMANAN K, et al. Pathotyping of Newcastle disease virus isolates from pet birds [J]. Acta Virologica, 2005, 49(3): 177-182.
- [15] MEULEMANS G, VAN DEN BERG T P, DECAESSTECKE R M, et al. Evolution of pigeon Newcastle disease virus strains [J]. Avian Pathol, 2002, 31(5): 515-519.
- [16] WAKAMATSU N, KING D J, SEAL B S, et al. The pathogenesis of Newcastle disease: A comparison of selected Newcastle disease virus wild-type strains and their infectious clones [J]. Journal of Virology, 2006, 353(2): 333-343.
- [17] TAN L T, XU H Y, WANG Y L, et al. Molecular characterization of three new virulent Newcastle disease virus variants isolated in China [J]. Journal of Clinical Microbiology, 2008, 46(2): 750-753.
- [18] SCHAPER U M, FULLER F J, WARD M D W, et al. Nucleotide sequence of the envelope protein genes of a highly virulent, neurotropic strain of Newcastle disease virus [J]. Journal of Virology, 1988, 165(1): 291-295.
- [19] WISE M G, SELLERS H S, ALVAREZ R, et al. RNA-dependent RNA polymerase gene analysis of worldwide Newcastle disease virus isolates representing different virulence types and their phylogenetic relationship with other members of the paramyxoviridae [J]. Virus Research, 2004, 104(1): 71-80.
- [20] HUANG Z H, PANDA A, ELANKUMARAN S, et al. The hemagglutinin-neuraminidase protein of Newcastle disease virus determines tropism and virulence [J]. Virol, 2004, 78(8): 4176-4184.
- [21] KATTENBELT J A, STEVENS M P, GOULD A R. Sequence variation in the Newcastle disease virus genome [J]. Virus Research, 2006, 116(1/2): 168-184.
- [22] SEAL B S, CRAWFORD J M, SELLERS H S, et al. Nucleotide sequence analysis of the Newcastle disease virus nucleocapsid protein gene and phylogenetic relationships among the Paramyxoviridae [J]. Virus Research, 2002, 83(1/2): 119-129.
- [23] 宋翠萍, 陈晓兰, 丁铲. 新城疫病毒致病力演变研究进展 [C] // 中国畜牧兽医学会兽医公共卫生分会第一次学术研讨会论文集. 上海, 2008: 97-103.

- [24] 王宏刚, 阿古达木, 宝力日敦. 非典型新城疫的发病原因及其诊断要点 [J]. 畜牧与饲料科学, 2012, 33(7): 121.
- [25] 杨金兴, 朱瑞良. 山东地区新城疫病毒分离株的分离鉴定及其 F 基因的分子特性分析 [J]. 华北农学报, 2013(2): 231-234.
- [26] 杨少华, 胡北侠, 黄艳艳, 等. 新城疫病毒山东分离株 F 和 HN 基因克隆与进化分析 [J]. 西南农业学报, 2011(4): 1547-1551.

(上接第 9987 页)

参考文献

- [1] PAN L L, YANG S X, DEBRUYN J. Factor analysis of downwind odours from livestock farms [J]. Biosystems Engineering, 2007, 96(3): 387-397.
- [2] DEHGHANZADEH REZA, TORKIAN AYOUB, BINA BIJAN, et al. Biodegradation of styrene laden waste gas stream using acromorph: based biofilter [J]. Chemosphere, 2005, 60(3): 434-439.
- [3] LEE DAL H, LAU ANTHONY K, PINDER KEN L. Development and performance of an alternative biofilter system [J]. Journal of the Air and Waste Management Association, 2001, 10: 78-85.
- [4] PAGANS ESTELLA FONT XAVIER, SANCHEZ ANTONI. Biofiltration for ammonia removal from composting exhaust gases [J]. Chem Eng J, 2005, 113(2/3): 105-110.

- [5] 李秀金. 介绍国外几种鸡粪处理方法 [J]. 农业工程学报, 1993, 9(7): 172-176.
- [6] 李国学. 固体废物堆肥化与有机复混肥生产 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2001: 128.
- [7] 房敏, 黄焕忠, 黄铭洪. 评估固体废弃物堆肥腐熟和稳定的研究 [J]. 上海环境科学, 1999, 18(2): 91-93.
- [8] 李艳霞, 王敏健, 王菊思. 有机固体废物腐熟度参数及指标 [J]. 环境科学, 1999, 20(2): 98-103.
- [9] 黄国锋, 吴启堂, 孟庆强, 等. 猪粪堆肥化处理的物质变化及腐熟度评价 [J]. 华南农业大学学报, 2002, 23(3): 1-4.
- [10] 向俊红, 胡伟. 我国畜禽粪便废弃物资源化利用现状 [J]. 现代农业装备, 2006(2): 59-63.
- [11] 桂文龙, 刘俊栋, 潘亚洲. 鸡粪好氧堆肥腐熟度的研究 [J]. 安徽农业科学, 2012, 40(22): 11251-11253.