

实施清洁生产源头控制畜禽养殖污染

吴银宝, 吴根义, 廖新倮

引用本文:

吴银宝, 吴根义, 廖新倮. 实施清洁生产源头控制畜禽养殖污染[J]. 农业环境科学学报, 2021, 40(11): 2283–2291.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.11654/jaes.2021-1101>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

我国畜禽养殖氨排放特征及减排体系构建研究

王文林, 杜薇, 韩宇捷, 曹秉帅, 李文静, 童仪, 戴钰蕴, 刘波

农业环境科学学报. 2021, 40(11): 2305–2316 <https://doi.org/10.11654/jaes.2021-1098>

基于文献计量的畜禽养殖废弃物新污染物研究态势分析

曹燕, 胡双庆, 沈根祥, 张洪昌, 王振旗, 李贞金

农业环境科学学报. 2021, 40(11): 2296–2304 <https://doi.org/10.11654/jaes.2021-1095>

畜禽粪污清洁堆肥——机遇与挑战

焦敏娜, 任秀娜, 何熠锋, 王权, 李荣华, 李季, 张增强

农业环境科学学报. 2021, 40(11): 2361–2371 <https://doi.org/10.11654/jaes.2021-1138>

我国畜禽养殖环境管理进程及展望

余磊, 姜珊, 姜彩红, 李想, 柳王荣, 苏文幸, 吴根义

农业环境科学学报. 2021, 40(11): 2277–2282 <https://doi.org/10.11654/jaes.2021-1130>

山西省畜禽粪污土地承载力及粪尿替代化肥潜力分析

郭彩霞, 杨子森, 马文奇, 焦光月, 张建杰

农业环境科学学报. 2020, 39(7): 1548–1557 <https://doi.org/10.11654/jaes.2019-1431>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

吴银宝, 吴根义, 廖新倮. 实施清洁生产源头控制畜禽养殖污染[J]. 农业环境科学学报, 2021, 40(11): 2283–2291.

WU Y B, WU G Y, LIAO X D. Implementation of cleaner production to reduce livestock and poultry pollution at the source[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2021, 40(11): 2283–2291.



开放科学 OSID

实施清洁生产源头控制畜禽养殖污染

吴银宝^{1,2}, 吴根义³, 廖新倮^{1,4*}

(1. 华南农业大学动物科学学院, 广州 510642; 2. 岭南现代农业科学与技术广东省实验室, 广州 510642; 3. 生态环境部华南环境科学研究所, 广州 510530; 4. 温氏食品集团股份有限公司, 广东 云浮 527400)

摘要: 清洁生产作为经济和环境协调发展的一项战略措施, 应用于畜牧业在为人类提供安全优质畜产品的同时, 还可实现畜禽养殖粪污及其污染物的减排, 减少畜牧业对周边环境的污染。本文从饲料调配和饲养管理等方面综述了与畜禽养殖污染物减排相关的清洁生产技术, 说明采用低蛋白氨基酸平衡日粮、精准化调配饲料、选择易消化饲料原料、合理应用饲料添加剂、加强环境调控、强化粪污产生管理和优化粪污资源化利用等措施能实现源头减排粪污及污染物的效果, 为畜禽养殖污染防治提供理论依据和技术支撑。

关键词: 畜禽养殖; 清洁生产; 污染物; 减排

中图分类号: X713; X38 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-2043(2021)11-2283-09 **doi:** 10.11654/jaes.2021-1101

Implementation of cleaner production to reduce livestock and poultry pollution at the source

WU Yinbao^{1,2}, WU Genyi³, LIAO Xindi^{1,4*}

(1. College of Animal Science, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China; 2. Guangdong Laboratory for Lingnan Modern Agriculture, Guangzhou 510642, China; 3. South China Institute of Environmental Science, Ministry of Ecology and Environment, Guangzhou 510530, China; 4. Wens Foodstuff Group Co., Ltd., Yunfu 527400, China)

Abstract: Cleaner production is a strategic measure for the coordinated development of the economy and the environment. Cleaner production applied to livestock breeding not only provides safe, quality products, but also helps to reduce livestock wastes and animal husbandry pollution in the surrounding environment. This paper reviewed cleaner production technologies related to pollutant reduction in livestock breeding from the aspects of feed nutrition and feeding management, which explains the effect of reducing wastes and pollutants at the source using technical measures, such as a low-protein diet based on the balance of amino acids, precise feed allocation, selection of digestible feed raw materials, rational application of feed additives, strengthened environmental regulation, improved manure production management, and optimized manure resource utilization. It provides a theoretical basis and technical support for pollution prevention and control of livestock breeding.

Keywords: livestock breeding; cleaner production; pollutant; emission reduction

收稿日期: 2021-09-24 录用日期: 2021-10-09

作者简介: 吴银宝(1973—), 男, 山西祁县人, 博士, 教授, 主要研究方向为家畜生态学。E-mail: wuyinbao@scau.edu.cn

*通信作者: 廖新倮 E-mail: xdliao@scau.edu.cn

基金项目: 国家现代农业产业技术体系(CARS-40); 广东省现代农业产业技术体系生猪创新团队项目(2021KJ126); 岭南现代农业实验室科研项目(NZ2021027)

Project supported: China Agriculture Research System (CARS-40); Swine Innovation Team in Guangdong Modern Agricultural Research System (2021KJ126); Laboratory of Lingnan Modern Agriculture Project(NZ2021027)

规模化畜牧业的发展对保障“菜篮子”供给具有重要意义,与此同时造成畜禽养殖污染物排放呈现总量增加、范围扩大和问题加剧的趋势,直接阻碍畜牧业的可持续发展和美丽乡村建设。依据我国第二次全国污染源普查公报,畜禽养殖业中水污染物COD排放量为1 000.53万t,分别占全国排放量和农业源排放量的46.67%和93.76%;氨氮排放量11.09万t,分别占11.51%和51.30%;总氮排放量59.63万t,分别占19.61%和42.14%;总磷排放量11.97万t,分别占31.95%和56.46%^[1]。如此高的畜禽废弃物和污染物排放量给我国环境造成极大的污染风险。据分析,2018年我国土地环境承载容量为146 985.99万头猪当量,处于超载的省区占全国(不含港澳台)全部省区的41.9%,且主要集中在南方,尤其是东南沿海地区超载状况更为严重^[2]。此外,畜禽粪污中还存在很难完全消除的污染物,如重金属、兽用抗生素、抗生素抗性基因、抗生素抗性菌、微塑料等,一旦进入环境就可能通过食物链影响居民健康^[3]。

20世纪70年代末期,清洁生产作为经济和环境协调发展的一项战略措施被提出并在全世界逐步推广应用。我国在1994年提出的“中国21世纪议程”中将清洁生产列为重点项目之一。2005年颁布的《中华人民共和国畜牧法》也明确了畜牧业清洁生产的规定,使畜禽清洁养殖纳入了法制化管理轨道。畜牧业清洁生产是农业清洁生产的重要一环,它是按照可持续发展的观点把清洁生产引入畜禽养殖中,在为人类提供绿色安全、健康无污染畜产品的同时,减少养殖废弃物和污染物的产生和排放,降低畜牧业生产过程对人类和环境的污染风险。由此可见,畜牧业清洁生产核心内容与畜禽养殖废弃物综合治理中源头减量一致,以预防为主,尽可能将污染物消除在它产生之前^[4]。畜牧业清洁生产通过采取各种有效措施,从源

头上控制畜禽废弃物产生量及污染物的排放量,对畜禽养殖主要污染物减排具有重要意义。本文从饲料调配和饲养管理等方面综述与畜禽养殖污染物减排相关的清洁生产技术及其效果,为畜禽养殖污染防治提供理论依据和技术支撑。

1 优化饲料配方减少畜禽污染物排放

畜禽排泄物是畜禽养殖过程排放的主要污染物,其主要来源于消化道内未完全消化吸收的饲料。根据清洁生产的要求,通过科学合理配制饲料,不仅可以提高动物对营养物质的消化吸收效率,还可以减少畜禽排泄物量及其污染物含量,从而实现源头减排。

1.1 配制低蛋白质氨基酸平衡日粮

氮是畜禽排泄物的主要营养成分。理想蛋白质指的是氨基酸组成比例与动物所需蛋白质的氨基酸组成比例完全一致的蛋白质,动物对其消化吸收效果最好。低蛋白质氨基酸平衡日粮基于理想蛋白质概念,采用的蛋白质含量低于NRC等营养标准,通过添加必需氨基酸使日粮氨基酸组成相对平衡,以提高畜禽对蛋白质的利用率,促进畜禽的生产性能,同时减少粪尿中氮的含量。我国配制猪日粮时粗蛋白含量大都参考美国NRC标准,如保育猪、保育猪后期、生长猪和育肥猪的日粮粗蛋白标准分别为20.9%、18.0%、15.5%和13.2%。表1总结了低蛋白饲料对不同畜禽污染物的氮减排效果。然而,单方面过度降低粗蛋白水平,会影响氨基酸的供给平衡,导致小肠绒毛变短并降低生产性能^[5]。因此,参照畜牧业清洁生产技术的要求,在保证畜禽生产性能的前提下,通过平衡饲料氨基酸水平,最大限度地降低蛋白质的水平,从而达到畜禽养殖氮减排的目的。

1.2 精准化配制饲料

量化饲料成分中生物可利用的营养物质含量,准

表1 低蛋白饲料的氮减排效果

Table 1 Effects of low protein diet on nitrogen emission reduction

饲料类型 Feed type	畜禽种类 Livestock type	减排效果 Emission reduction effect
粗蛋白降低1.5%,补充赖氨酸	猪	猪粪氮浓度降低了0.30~0.38 mg·kg ⁻¹ ,并且提高了生长性能 ^[5]
粗蛋白降低6%,添加L-赖氨酸、DL-蛋氨酸、L-苏氨酸、L-色氨酸、L-缬氨酸和L-异亮氨酸	猪	氮排放减少45.7%,生长性能没有差异 ^[6]
粗蛋白降低2.08%,补充合成氨基酸	猪	氮的消化率提高1.82%,磷的消化率提高0.69%,生长性能不受影响,显著降低了排泄物中氮、磷等物质的排放
粗蛋白降低2%,补充结晶氨基酸	蛋鸡	排泄物氮含量占干物质的百分比显著降低 ^[7-8]
粗蛋白降低5%,添加限制性氨基酸	奶牛	氮的利用率从26%提高到32%~33%,减少了氮排放 ^[9]
粗蛋白降低0.8%和1.66%,补充过瘤胃赖氨酸和过瘤胃蛋氨酸	奶牛	粪尿氮排放量降低7.67%和15.19% ^[10]

确满足畜禽氮、磷和微量矿物质的需求,采用阶段或集体饲喂模式^[11],也是源头减排畜禽污染物的重要措施,不同畜禽种类粪便中养分含量如表2所示。不同品种、生长阶段的畜禽有不同的营养需要,饲料配方应根据不同生长阶段的特点不断优化。因此,根据动物不同生长阶段、生理生化特点、环境条件,采用精细化的营养调控,提高消化率的同时,达到养分减排的目的。

饲料中添加铁、铜、锌、锰、铬等矿物质,可以促进畜禽生长,维持机体健康,改善畜产品品质^[12]。但微量元素的过量添加、微量元素间的拮抗作用以及饲料保存不当均会降低畜禽对微量元素的吸收利用率,导致未被吸收利用的微量元素随粪尿排入环境中,造成污染^[13]。不同畜禽种类粪便中重金属含量如表3所示。精准控制微量元素的添加量或使用有机微量元素、纳米微量元素,可以减少畜禽粪源污染物的排放^[14]。

铜和锌是猪粪中超标最为严重的两类重金属,其污染主要来源于饲料中无机铜和锌的添加。研究证明,在一定范围内降低饲料中铜和锌的添加量不仅不会影响猪的生产性能,还能起到很好的减排作用。荷兰学者对2011年公开发表的65篇文章中的214个数

据进行统计分析,发现在生猪5~25 kg阶段,饲料中含有152 mg·kg⁻¹的铜可以达到最佳生长效果;饲料中含有134 mg·kg⁻¹的铜完全可以满足5~45 kg阶段猪的生长需求;而且在生长和育肥阶段,较高浓度的铜对猪的生长没有积极作用,反而会降低猪的生长性能^[16]。猪在不同生长阶段对锌的需求不一样,其中仔猪需求量最大^[17]。有研究表明,在仔猪断奶后的前6周添加锌的含量为46~48 mg·kg⁻¹,能达到最佳的生长性能和健康状况^[18],这一结论显著低于我国饲料添加剂安全使用规范的最高允许水平150 mg·kg⁻¹,对猪饲料中锌的添加及污染物减排有很好的指导作用。因此,按照清洁生产原则,精准化配制饲料成分,特别是控制饲料中微量元素的添加量,对于动物的健康成长和生态环境安全均具有非常重要的意义。

1.3 选择易消化的饲料原料

畜禽对所有饲料的消化率都有一定的限度,没被消化利用的营养物质被排出体外,会对环境造成污染。在较常用的玉米-豆粕型猪饲料中,作为主要氮源的豆粕,猪对其消化率大约只有76.7%;磷主要以植酸磷的形式存在,而猪缺少相关消化酶,对其难以消化利用,造成60%~75%的磷被直接排到环境中;补充铜、锌的矿物质添加剂主要是硫酸铜和氧化锌,这些物质具有使用方便、价格便宜等特点,但生物可利

表2 不同畜禽种类粪便中营养物质的含量

Table 2 Nutrient contents in feces of different livestock and poultries

畜禽粪 Livestock manure	有机质 Organic material/%	全氮 Total nitrogen/%	全磷 Total phosphorus/%	全钾 Total potassium/%	蛋白氮 Protein nitrogen/%	铵态氮 Ammonium nitrogen/(mg·g ⁻¹)
猪粪	24.16	2.65	0.68	1.99	2.22	4.266
牛粪	23.75	2.17	0.84	0.48	2.05	1.252
羊粪	25.83	1.84	0.67	0.60	1.72	1.199
鸡粪	25.12	4.98	1.62	1.62	4.14	8.436
兔粪	20.47	3.32	0.58	0.58	3.14	1.827

表3 不同畜禽种类粪便中重金属含量(mg·kg⁻¹)^[15]

Table 3 Heavy metal contents in feces of different livestock and poultries(mg·kg⁻¹)^[15]

畜禽粪 Livestock manure	来源 Source	Cu	Zn	Pb	Ni	Cd	Cr	As
猪粪	规模化养殖场	1 044.13	1 771.37	2.54	11.32	0.53	5.87	16.83
	农户家庭养殖	191.62	372.88	2.39	6.14	0.39	6.29	6.29
鸡粪	规模化养殖场	271.16	379.59	4.87	5.50	0.73	7.06	5.04
	农户家庭养殖	91.60	178.02	3.64	5.99	0.44	6.47	3.58
鸭粪	规模化养殖场	198.76	352.10	9.36	8.37	0.77	6.60	6.34
	农户家庭养殖	34.68	97.82	10.27	9.53	0.34	8.55	6.83
牛粪	规模化养殖场	90.35	175.23	9.30	7.83	0.34	6.57	3.30
	农户家庭养殖	40.91	48.72	7.37	7.81	0.24	6.08	1.75

用性低,排放到体外的量多。因此选择合理、易于消化的饲料原料,不仅可以提高猪对饲料的消化率,还可以减少污染物排放。目前比较热点的新替代原料有膨化玉米、发酵豆粕、有机矿物质和转基因植物原料等(表4)。

1.4 合理使用饲料添加剂

畜牧业清洁生产要求饲料添加剂的选择应达到促进营养物质吸收、减排畜禽养殖污染物的目的,同时还要明确饲料添加剂的添加方式和添加量,防止畜禽粪污中的养分、重金属、抗生素、抗性基因等污染物质的超标,对环境造成污染。常用的添加剂有益生菌、酸化剂、酶制剂、凹凸棒石和中草药等(表5)。

2 加强饲养管理减少畜禽污染物排放

畜禽养殖清洁生产是一个全过程控制的生产模

式^[50],其中畜禽饲养管理是贯穿于整个养殖过程的重要组成部分。这需从加强环境调控、强化粪污产生管理、优化粪污资源化利用这3个方面入手,落实清洁生产。

2.1 加强环境调控

饲养环境的好坏直接影响到畜禽健康、生长性能和养分利用率。在精细化饲养管理过程中,舍内环境条件的精准控制(如温度、湿度、光照等)对畜禽良种性能、饲料营养作用的发挥极为重要,这样才能最大限度发挥生产性能和提高资源利用,减少生猪养殖过程中疫病的发生^[51],减少污染物的产生与排放。

温度在环境的诸因素中起主导作用。温度对生猪的影响,主要体现在生长速度与饲料利用率上。温度过高或过低都会使猪生长速度减慢,饲料利用率降低^[52-54]。表6、表7为不同温度对猪生产性能的影响。

表4 易消化的饲料原料特征及其减排效果

Table 4 Digestible feed material characteristics and their emission reduction effect

饲料原料 Feed	概念 Concept	优点 Advantage	减排效果 Emission reduction effect
膨化玉米	玉米经过水分、热、机械剪切、摩擦、揉搓及压力差综合作用下的淀粉糊化物	增加食欲,提高消化利用率,减少仔猪腹泻发生	干物质消化率提高3.23% ^[19-21]
发酵豆粕	以豆粕为主要原料,通过微生物的发酵而成	增加食欲,提高猪的采食量,具有吸收快、效率高和耗能低的优点,能减少粪便中含氮物质的排放。	10%的豆粕饲喂仔猪,猪粪中氮的浓度显著降低了8.22%,磷、铜、锌的浓度有降低的趋势 ^[22-27]
有机矿物质	主要指有机铜和有机锌	更高的生物效应、吸收率和更稳定的化学结构,属于环境友好型物质,在一定程度上减少污染物的排放	100 mg·kg ⁻¹ 甘氨酸螯合锌饲喂仔猪,猪粪中的锌浓度减少95%,134 mg·kg ⁻¹ 的蛋氨酸螯合铜饲喂仔猪,猪粪中铜的浓度减少54% ^[28-29]
转基因植物	利用转基因技术,使得植物产品获得特定的性状	转植酸酶作物更利于猪对磷的吸收利用,提高畜禽对饲料磷的利用、减少磷排放	在低磷饲料中添加植酸酶,磷的消化率提高15.82%~25.84% ^[30-31]

表5 常用的饲料添加剂优点及其减排效果

Table 5 Advantages of commonly used feed additives and their emission reduction effect

饲料添加剂 Feed additive	概念 Concept	优点 Advantage	减排效果 Emission reduction effect
益生菌	定殖在宿主内,对宿主有益的活性微生物,具有促进营养吸收保持肠道健康的作用	调节肠道内菌群平衡,促进营养吸收,保持肠道健康	猪体外发酵试验中加入0.2 mg酿酒酵母活菌数为1.8×10 ¹⁰ CFU的冻干粉,24 h后总气体减少6.7%,甲烷减少24.8%,干物质消化率提高了6.3%;在仔猪的基础日粮中添加2.0%和3.0%复合微生物制剂,粪便中H ₂ S浓度分别降低了21.7%和23.2%,NH ₃ 浓度分别降低了39.0%和32.5% ^[32-34]
酸化剂	由有机酸与无机酸按一定比例与赋形剂复合组成的饲料添加剂	主要用于幼畜日粮以调整消化道内环境,改善饲料消化吸收率	与日粮中二甲酸钾添加量为0、1.8%和3.6%相比,断奶仔猪日粮中添加量为0.9%二甲酸钾,粗蛋白质的表现消化率分别提高了4.7%、2.32%和5.96% ^[35-40]
酶制剂	酶经过提纯、加工后的具有催化功能的生物制品	提高养分的消化率,减少粪尿中氮和磷的排放	在猪日粮中添加植酸酶,猪粪中氮的浓度降低了19.87%~24.83%,猪粪中磷的浓度降低了39.17%~41.94%,猪粪中铜的浓度降低了60.68%~65.03%,猪粪中铁的浓度降低了33.64%~34.93%,猪粪中锌的浓度降低了39.50%~42.43%,干物质消化率提高了11.3% ^[41-43]
凹凸棒石	一种具有链层状结构的含水富镁铝硅酸盐矿物	具有很强的吸附性和离子交换性等理化特性,提高动物对锌的利用率	在饲料中添加1 800 g·kg ⁻¹ 的凹凸棒石,猪粪中锌的浓度由7.322 g·kg ⁻¹ 下降到1.535 g·kg ⁻¹ ,减排率达到79% ^[44-46]
中草药	以中草药为原料制成的饲料添加剂	含有多生物活性成分,能调节胃肠内的pH值,提高营养物质的利用率	在日粮中添加0.012 5%的植物精油提取物,仔猪对干物质和氮消化率提高了5.4%和14.8%,显著提高仔猪的饲料转化率 ^[47-49]

表6 温度对70~100 kg猪采食量、增重、能量效益的影响

Table 6 Effects of temperature on feed intake, weight gain and energy efficiency for 70~100 kg pigs

温度 Temperature/℃	能量进食量 Energy intake/(kJ·d ⁻¹)	增重 Weight gain/(kg·d ⁻¹)	产品能 Product energy/kJ	能量效率 Energy efficiency/%
0	64 337	0.54	12 512	19.4
5	47 714	0.53	12 280	25.7
10	44 417	0.80	18 536	41.7
15	39 974	0.79	18 304	45.8
20	40 861	0.85	19 695	48.2
25	33 372	0.72	16 682	50.1
30	28 045	0.45	10 427	37.1
35	19 159	0.31	7 183	37.4

通过调控温度,使猪的生长速度和饲料利用率维持在较好的水平,能达到减少污染物的产生与排放的目的。

猪舍内的空气湿度也会影响猪的新陈代谢^[55]。在气温14~23℃、相对湿度50%~80%的环境下最适合猪生存(表8)。合适的湿度范围有利于畜禽高效利用营养物质,从而实现源头减排污染物的目的。为了防止湿度过高,首先要减少猪舍内水气的来源,少用或不用大量水冲刷猪圈,保持地面平整,避免积水;同时要设置通风设备,经常开启门窗。

表7 各类型猪的适宜温度(℃)

Table 7 Suitable temperature for pigs at different growth stages(℃)

类别 Type	适宜温度 Suitable temperature	高临界 Maximum	低临界 Minimum
种公猪舍	15~20	25	13
空怀妊娠母猪舍	15~20	27	13
哺乳母猪舍	18~22	27	16
哺乳仔猪保温箱	28~32	35	27
保育猪舍	20~25	28	16
生长有肥猪舍	15~23	27	13

表8 不同生长阶段猪舍的适宜相对湿度(%)

Table 8 Suitable relative humidity for pigs at different growth stages(%)

类别 Type	相对湿度适宜范围 Relative humidity range	硫化氢 H ₂ S	二氧化碳 CO ₂
种公猪舍	60~70	85	50
空怀妊娠母猪舍	60~70	85	50
哺乳母猪舍	60~70	80	50
哺乳仔猪保温箱	60~70	80	50
保育猪舍	60~70	80	50
生长有肥猪舍	60~75	85	50

猪舍通风较差会在舍内蓄积大量二氧化碳、氨、硫化氢和尘埃。猪舍空气中有害气体的允许浓度见表9,最大允许值,二氧化碳为3 000 mg·L⁻¹,氨为30 mg·L⁻¹,硫化氢为20 mg·L⁻¹。猪若长时间生活在有害环境中,除引起各种疾病外,还会导致猪的应激综合征,从而导致畜禽生产力下降10%~20%^[56]。通过自然通风和机械通风(表10),可以将有害气体等排出至舍外,使舍内空气环境得到保障,有利于提高畜禽营养物质的消化吸收和利用率。

光照是影响家畜生长、繁殖的主要环境因素之一。合理的光照环境对猪有促进新陈代谢、加速骨骼生长以及活化和增强免疫机能的作用,能够显著提高猪的繁殖力和生产力。母猪、仔猪和后备种猪每日保持14~18 h的50~100 lx的光照时间,有利于提高畜禽

表9 猪舍内有害气体允许浓度(mg·m⁻³)Table 9 Permissible concentration of harmful gases in piggery(mg·m⁻³)

类别Type	氨气NH ₃	硫化氢H ₂ S	二氧化碳CO ₂
种公猪舍	25	10	1 500
空怀妊娠母猪舍	25	10	1 500
哺乳母猪舍	20	8	1 300
保育猪舍	20	8	1 300
生长有肥猪舍	25	10	1 500

表10 猪舍内适宜的气流(m·s⁻¹)Table 10 Suitable air flow in piggery(m·s⁻¹)

类别Type	春、秋、冬季Spring, autumn, and winter	夏季Summer
哺乳母猪舍	0.1	0.4
保育猪舍	0.2	0.6
怀孕舍	0.3	1
育肥猪舍	0.2	自然风

的饲料利用率,减少污染物的排放^[57-58]。

2.2 强化粪污产生管理

猪场雨污分流、清污分流系统的设置能使猪场废水总量降低^[59]。雨水和一些猪场人员生活用水这类污染物含量低或不含污染物的水,若直接并入猪场废水中,会导致废水总量加大,处理难度增大。建立雨污分流和清污分流系统,可将这部分水的流向与高浓度的猪场废水分隔,提高废水的处理效率。此外,不同的饮水器类型或饮水方式,动物在饮水时洒漏的情况不一样。以猪为例,现在常见的饮水器有鸭嘴式、乳头式、吸吮式(仔猪)及杯式或碗式等^[60];王美芝等^[55]对保育猪阶段不同饮水器造成的浪费水量进行对比,发现每头保育猪使用鸭嘴式、Swing式和杯式饮水器造成的浪费水量分别为1.93、1.42、1.13 L·d⁻¹。选择适宜的饮水器也是减少粪污产生量的重要措施。

清粪工艺对猪场粪污和废水的产生量以及废水中各种物质的含量有着重要的影响(图1~图3)。水冲清粪、水泡清粪和干清粪工艺平均每头猪用水量分别为35~40、20~25 L·d⁻¹和10~15 L·d⁻¹^[61]。采用干清粪(机械或人工)有助于清洁生产。



图1 水冲清粪

Figure 1 Manure cleaning by rinsing



图2 水泡清粪

Figure 2 Manure cleaning by water submerging



图3 干清粪

Figure 3 Manure cleaning by labor

2.3 优化粪污资源化利用

畜禽饲养规模要考虑周边环境的承载能力。养殖规模将决定粪污的产生量,若粪污产生量与有效范围内农田、果园负荷量保持相对均等,可以减少养殖过程中造成的环境污染。因此,在进行猪场选址和建造时不仅要配备足够的粪污处理设备,并且要考察周围环境是否有利于未来的发展。陈贵等^[51]进行了连续5 a田间定位试验,发现水稻种植过程中单独施用猪粪30 t·hm⁻²时,水稻产量、干物质累积量、氮磷累积量及生理利用效率与常量化肥处理相比无显著差异。种植水稻、玉米和大豆,黑龙江农垦每公顷农田可承载的猪当量分别为37、21头和21头^[62]。规模养殖场配套土地面积等于规模养殖场粪肥养分供给量(对外销售部分不计算在内)除以单位土地粪肥养分需求量。主要作物的需肥量如表11所示,根据作物需肥量核算养殖场周边土地承载力,为养殖场配套足够利用养分的土地,不仅是畜牧业清洁生产的要求,更是农业可持续发展的要求。

3 结语

养殖端采用清洁生产技术对源头减排畜禽养殖污染有重要贡献。清洁生产既能够实现畜牧业内部饲养技术、管理水平和资源利用效率的提升,又能够

表11 不同作物的目标产量和需肥量特征

Table 11 Target yields and fertilizer requirements for different crops

作物种类 Crop	目标产量 Grain output target/kg	每100 kg作物需肥量 Fertilizer requirement per 100 kg crops/kg		
		氮 Nitrogen	磷 Phosphorus	钾 Potassium
水稻	500	1.62	0.89	1.88
玉米	500	1.83	0.80	1.69
大豆	180	7.20	1.77	3.05

实现污染物的减排,从而减轻末端的废弃物处置压力;从整个农业来看,养殖粪污是重要的农业有机肥源,在适度规模下践行种养结合、推进粪污资源化利用进程,是发展循环农业、绿色农业所不可或缺的。然而,目前畜牧业清洁生产尚处于探索和实践阶段,今后应配套清洁生产相关的组织与管理体系,让清洁生产技术指导我国畜禽养殖,在提供优质产品的同时,减少畜禽养殖污染物排放,助力畜牧业可持续发展。

参考文献:

- [1] 第二次全国污染源普查公报[J]. 环境保护, 2020, 48(18): 8-10. The second national pollution source census bulletin[J]. *Environmental Protection*, 2020, 48(18): 8-10.
- [2] 熊学振, 杨春, 于琳. 中国畜牧业环境约束的量化分析—基于土地环境承载力和生态足迹[J]. 农业环境科学学报, 2021, 40(8): 1799-1807. XIONG X Z, YANG C, YU L, et al. Quantitative analysis of environmental constraints in China's animal husbandry industry based on land environmental carrying capacity and ecological footprint[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2021, 40(8): 1799-1807.
- [3] 李光辉, 沈福珍. 重金属污染对养猪业的危害及其防治对策[J]. 国外畜牧学(猪与禽), 2015, 35(7): 34-36. LI G H, SHEN F Z. The harm of heavy metal pollution to pig industry and its control countermeasures[J]. *Foreign Animal Husbandry (Pig and Poultry)*, 2015, 35(7): 34-36.
- [4] 武淑霞, 刘宏斌, 黄宏坤, 等. 我国畜禽养殖粪污产生量及其资源化分析[J]. 中国工程科学, 2018, 20(5): 103-111. WU S X, LIU H B, HUANG H K, et al. Analysis on the amount and utilization of manure in livestock and poultry breeding in China[J]. *Chinese Journal of Engineering Science*, 2018, 20(5): 103-111.
- [5] 姜文, 赵鑫. 低蛋白平衡氨基酸饲料对仔猪肠道健康及氨氮排放的影响[J]. 今日养猪业, 2016(9): 80-81. JIANG W, ZHAO X. Effects of low protein balanced amino acid diet on intestinal health and ammonia nitrogen emission of piglets[J]. *Pigs Today*, 2016(9): 80-81.
- [6] TOLEDO J B, FURLAN A C, POZZA P, et al. 日粮中添加氨基酸降低粗蛋白含量对6~15 kg仔猪生产性能的影响[J]. 饲料博览, 2014(11): 52. TOLEDO J B, FURLAN A C, POZZA P, et al. Effect of dietary amino acid supplementation to reduce crude protein content on the performance of 6~15 kg piglets[J]. *Feed Review*, 2014(11): 52.
- [7] 李宁. 环保猪饲料对中大猪生长性能及排泄物排放的影响研究[J]. 饲料博览, 2019(5): 20-22. LI N. Effects of environmental feed on growth performance and excretion of big pig[J]. *Feed Review*, 2019(5): 20-22.
- [8] JI F, FU S Y, REN B, et al. Evaluation of amino-acid supplemented diets varying in protein levels for laying hens[J]. *Journal of Applied Poultry Research*, 2014, 23(3): 384-392.
- [9] 杨永军, 刘霞, 张佐忠, 等. 奶牛低氮日粮配方的研究[J]. 中国畜牧业, 2019(11): 59-60. YANG Y J, LIU X, ZHANG Z Z, et al. Study on the formula of low nitrogen diet for dairy cows[J]. *China Animal Industry*, 2019(11): 59-60.
- [10] 赵若含, 李莲, 韩兆玉, 等. 低蛋白氨基酸平衡日粮对产奶牛的生产性能和粪尿氮含量的影响[J]. 畜牧与兽医, 2019, 51(4): 23-29. ZHAO R H, LI L, HAN Z Y, et al. Effect of low protein amino acid balanced diet on production performance and nitrogen content in feces and urine of lactating dairy cows[J]. *Animal Husbandry and Veterinary Medicine*, 2019, 51(4): 23-29.
- [11] LU L, LIAO X D, LUO X G. Nutritional strategies for reducing nitrogen, phosphorus and trace mineral excretions of livestock and poultry[J]. *Journal of Integrative Agriculture*, 2017, 16(12): 2095-3119.
- [12] 贾刚, 田刚, 方热军, 等. 单胃动物微量元素营养研究进展[J]. 动物营养学报, 2020, 32(10): 4659-4673. JIA G, TIAN G, FANG R J, et al. Proceeding of monogastric animal trace elements nutrition[J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2020, 32(10): 4659-4673.
- [13] 范振港, 肖定福. 微量元素在畜禽养殖业的应用及对环境的影响[J]. 饲料博览, 2019(6): 19-23, 28. FAN Z G, XIAO D F. Application of trace-elements in livestock and poultry breeding industry and its impact on environment[J]. *Feed Review*, 2019(6): 19-23, 28.
- [14] 谭芬芳. 饲料中过量微量元素对畜禽和环境的影响及改善措施[J]. 饲料研究, 2021, 44(11): 155-157. TAN F F. Effects of excess trace elements in feed on livestock, poultry and environment and improvement measures[J]. *Feed Research*, 2021, 44(11): 155-157.
- [15] 单英杰, 章明奎. 不同来源畜禽粪的养分和污染物组成[J]. 中国生态农业学报, 2012, 20(1): 80-86. SHAN Y J, ZHANG M K. Contents of nutrient elements and pollutants in different sources of animal manures[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2012, 20(1): 80-86.
- [16] VAN DER AAR P, 金立志. 猪配合饲料中铜和锌的需要量的最新研究进展[J]. 饲料工业, 2013, 4(12): 23-25. VAN DER AAR P, JIN L Z. Recent research progress on requirements of copper and zinc in compound feed of pigs[J]. *Feed Industry*, 2013, 4(12): 23-25.
- [17] 罗平. 猪在不同生长阶段的营养需求[J]. 农村养殖技术, 2008(17): 22. LUO P. Nutritional requirements of pigs at different growth stages[J]. *Rural Breeding Technology*, 2008(17): 22.
- [18] BIKKER P, VAN D, IEPEN J T, et al. Phytase inclusion in pig diets improves zinc status but its effect on copper availability is inconsistent[J]. *Journal of Animal Science*, 2012, 90(Suppl 4): 197-199.
- [19] AMORNTHEWAPHAT N, ATTAMANGKUNE S. Extrusion and animal performance effects of extruded maize quality on digestibility and growth performance in rats and nursery pigs[J]. *Animal Feed Science and Technology*, 2008, 144(3/4): 292-305.
- [20] 胡建业. 膨化玉米营养价值评定及对仔猪生产性能影响的研究[D]. 郑州: 河南农业大学, 2009. HU J Y. Determination of extruded corn nutrition value and its effect on the growth performance of weanling piglets[D]. Zhengzhou: Henan Agricultural University, 2009.
- [21] LV S Q, LI D F, XING J J, et al. Effects of extrusion of corn on growth performance, nutrient digestibility and short-chain fatty acid profiles in the hindgut of weaned piglets[J]. *Archives of Animal Nutrition*, 2006, 60(2): 170-179.
- [22] ZHANG H Y, YI J Q, PIAO X S, et al. The metabolizable energy value, standardized ileal digestibility of amino acids in soybean meal, soy protein concentrate and fermented soybean meal, and the applica-

- tion of these products in early-weaned piglets[J]. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 2013, 26(5):691-699.
- [23] 刘海燕. 乳酸菌发酵豆粕及其功效研究[D]. 长春: 吉林农业大学, 2012. LIU H Y. Research on the functional characterization of soybean meal fermented by lactic acid bacteria[D]. Changchun: Jilin Agricultural University, 2012.
- [24] ROH S, CARROLL J A, KIM S W. Effects of fermented soybean meal on innate immunity-related gene expressions in nursery pigs acutely challenged with lipopolysaccharides[J]. *Animal Science Journal*, 2015, 86(5):508-516.
- [25] JONES C K, DEROUCHÉY J M, NELSEN J L, et al. Effects of fermented soybean meal and specialty animal protein sources on nursery pig performance[J]. *Journal of Animal Science*, 2010, 88(5):1725-1732.
- [26] 宋承谋, 张成良, 吴正杰, 等. 豆粕酶解发酵物对仔猪生长性能及部分营养物质粪排放量的影响[J]. 养殖与饲料, 2015, 8(10):32-34. SONG C M, ZHANG C L, WU Z J, et al. Effects of enzymatic hydrolysis of soybean meal on growth performance and fecal excretion of some nutrients in piglets[J]. *Animals Breeding and Feed*, 2015, 8(10):32-34.
- [27] 李少宁, 姜建阳, 于光辉, 等. 发酵豆粕对鲁烟白猪回肠养分消化率及氮平衡的影响[J]. 饲料工业, 2015, 7(24):40-44. LI S N, JIANG J Y, YU G H, et al. Impact of fermented soybean meal on Luyuan white pigs' ileal nutrients digestibility and nitrogen balance[J]. *Feed Industry*, 2015, 7(24):40-44.
- [28] WANG Y, TANG J W, MA W Q, et al. Dietary zinc glycine chelate on growth performance, tissue mineral concentrations, and serum enzyme activity in weanling piglets[J]. *Biological Trace Element Research*, 2010, 133(3):325-334.
- [29] HUANG Y, ZHOU T X, LEE J H, et al. Effect of dietary copper sources (cupric sulfate and cupric methionate) and concentrations on performance and fecal characteristics in growing pigs[J]. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 2010, 23(6):757-761.
- [30] 刘晋生, 邓俊良, 牛一兵, 等. 转基因植酸酶玉米主要营养成分及其猪消化率的测定[J]. 中国饲料, 2012, 5(14):10-14. LIU J S, DENG J L, NIU Y B, et al. Nutrition composition of phytase transgenic corn and determination for its digestibility in pig[J]. *China Feed*, 2012, 5(14):10-14.
- [31] NYANNOR E K D, WILLIAMS P, BEDFORD M R, et al. Corn expressing an *Escherichia coli*-derived phytase gene: A proof-of-concept nutritional study in pigs[J]. *Journal of Animal Science*, 2007, 85(8):1946-1952.
- [32] DAVIS M E, BROWN D C, BAKER A, et al. Effect of direct-fed microbial and antibiotic supplementation on gastrointestinal microflora, mucin histochemical characterization, and immune populations of weanling pigs[J]. *Livestock Science*, 2007, 108(1/2/3):249-253.
- [33] GONG Y L, LIAO X D, LIANG J B, et al. Methane production in intestinal content of pigs[J]. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 2013, 26(6):856-863.
- [34] 刘冬姣. 饲料中添加复合微生物制剂对仔猪生长性能及粪便中 NH_3 和 H_2S 含量的影响[J]. 中国饲料, 2018(21):17-20. LIU D J. Effects of compound microorganism preparation in feed on growth performance and the content of NH_3 and H_2S of piglet[J]. *China Feed*, 2018(21):17-20.
- [35] 李兆勇, 杨在宾, 杨维仁. 不同添加水平的二甲酸钾替代酸化剂和抗生素对断奶后仔猪生产性能影响的研究[J]. 中国饲料, 2011, 18(9):31-35. LI Z Y, YANG Z B, YANG W R. Effects of different levels of potassium diformate replaced with acidifier and antibiotics on growth performance of weaned piglet[J]. *China Feed*, 2011, 18(9):31-35.
- [36] 张翠, 王昕陟, 齐爱岭. 二甲酸钾对断奶仔猪生长性能和免疫指标的影响[J]. 畜牧与兽医, 2011, 9(2):64-67. ZHANG C, WANG X S, QI A L. Effects of potassium dicarboxylate on growth performance and immune index of weaned piglets[J]. *Animal Husbandry and Veterinary Medicine*, 2011, 9(2):64-67.
- [37] HALAS D, HANSEN C F, HAMPSON D J, et al. Dietary supplementation with benzoic acid improves apparent ileal digestibility of total nitrogen and increases villous height and caecal microbial diversity in weaner pigs[J]. *Animal Feed Science and Technology*, 2010, 160(3/4):137-147.
- [38] 夏双双, 姚文, 邹冰洁, 等. 二甲酸钾对断奶仔猪胃功能的影响[J]. 畜牧与兽医, 2015, 23(3):47-51. XIA S S, YAO W, ZOU B J, et al. Effect of potassium dicarboxylate on gastric function of weaned piglets[J]. *Animal Husbandry and Veterinary Medicine*, 2015, 23(3):47-51.
- [39] 李俊波, 杨飞来, 袁中彪, 等. 二甲酸钾对断奶仔猪生产性能和养分消化率的影响[J]. 中国饲料, 2009, 35(2):27-29. LI J B, YANG F L, YUAN Z B, et al. Effects of potassium diformate on performance and nutrient digestibility in weaned piglets[J]. *China Feed*, 2009, 35(2):27-29.
- [40] 冯定远, 张莹, 余石英, 等. 含有木聚糖酶和 β -葡聚糖酶的酶制剂对猪日粮消化性能的影响[J]. 畜禽业, 2000, 23(7):26-31. FENG D Y, ZHANG Y, YU S Y, et al. Effects of enzyme preparations containing xylanase and β -glucanase on dietary digestibility of pigs[J]. *Livestock and Poultry Industry*, 2000, 23(7):26-31.
- [41] AHMED A M, ARIFA T, NURIA F. Reduction of phosphorus pollution from broilers waste through supplementation of wheat based broilers feed with phytase[J]. *Journal of Chemistry*, 2015, 867014:1-3.
- [42] JENDZA J A, ADEOLA O. Water-soluble phosphorus excretion in pigs fed diets supplemented with microbial phytase[J]. *Animal Science Journal*, 2009, 80(3):296-304.
- [43] 林国徐, 刘景, 方桂友, 等. 在低蛋白饲料中添加植酸酶、NSP酶和有机微量元素对肥育猪养分排泄量的影响[J]. 家畜生态学报, 2016, 23(8):70-74. LIN G X, LIU J, FANG G Y, et al. Effects of low protein, low phosphorous and low trace mineral diet on growth performance and nutrient excretion of finishing pigs[J]. *Journal of Domestic Animal Ecology*, 2016, 23(8):70-74.
- [44] LV Y F, TANG C H, WANG X Q, et al. Effects of dietary supplementation with palygorskite on nutrient utilization in weaned piglets[J]. *Livestock Science*, 2015, 174(9):82-86.
- [45] ZHANG J, LV Y, TANG C, et al. Effects of dietary supplementation with palygorskite on intestinal integrity in weaned piglets[J]. *Applied*

- Clay Science*, 2013, 86(8):185-189.
- [46] TANG C H, WANG X Q, ZHANG J M. Effects of supplemental palygorskite instead of zinc oxide on growth performance, apparent nutrient digestibility and fecal zinc excretion in weaned piglets[J]. *Animal Science Journal*, 2014, 85(4):435-439.
- [47] AHMED S T, HOSSAIN M E, KIM G M, et al. Effects of resveratrol and essential oils on growth performance, immunity, digestibility and fecal microbial shedding in challenged piglets[J]. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 2013, 26(5):683-690.
- [48] 马程, 娜日苏, 乌云达来. 可饲用中草药植物非药用部位的利用研究进展[J]. 饲料博览, 2021(4):9-14. MA C, NA R S, WUYUN D L. Research progress on utilization of non-medicinal parts of Chinese herbal medicine plants for feed[J]. *Feed Review*, 2021(4):9-14.
- [49] 胡会玲, 武怡荷, 陈书明, 等. 鸡源产 β -葡萄糖苷酶混合菌群发酵黄芩茎叶的制备及其对肉鸡消化和免疫功能的影响[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2021(12):107-113. HU H L, WU Y H, CHEN S M, et al. Preparation of fermented the stems and leave of *scutellaria baicalensis* with chicken-derived β -glucosidase-producing mixed bacteria and their effects on the digestion and immune function of broilers[J]. *Heilongjiang Animal Science and Veterinary Medicine*, 2021(12):107-113.
- [50] 董金朋, 张园园, 孙世民. 中国畜禽养殖业清洁生产的实践探索[J]. 中国畜牧杂志, 2018, 54(10):130-133. DONG J P, ZHANG Y Y, SUN S M. Practice and exploration of cleaner production in livestock and poultry breeding industry in China[J]. *Chinese Journal of Animal Science*, 2018, 54(10):130-133.
- [51] 陈贵, 张红梅, 沈亚强, 等. 猪粪与牛粪有机肥对水稻产量、养分利用和土壤肥力的影响[J]. 土壤, 2018, 50(1):59-65. CHEN G, ZHANG H M, CHEN Y Q, et al. Application effects of swine and cow manures on rice yield, nutrient uptakes and use efficiencies and soil fertility[J]. *Soils*, 2018, 50(1):59-65.
- [52] 楚天舒, 王柄雄, 高思程, 等. 基于农田土壤重金属污染风险筛选值的畜禽粪污农田承载力估算[J]. 中国农业大学学报, 2021, 26(2):125-138. CHU T S, WANG B X, GAO S C, et al. Estimation on farmland carrying capacity for livestock and poultry manure based on risk screening values for farmland soil heavy metal contamination[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2021, 26(2):125-138.
- [53] 刘定发. 供港猪场安全清洁生产与生态循环模式关键技术研究[D]. 广州:华南农业大学, 2017. LIU D F. Research of key technology of clean production and ecological circulation pattern in external trade for Hong Kong pig farm[D]. Guangzhou: South China Agricultural University, 2017.
- [54] 杨露. 规模化猪场如何用好自动饮水器[J]. 中国畜禽种业, 2012(4):85-87. YANG L. How to make good use of automatic drinking fountains in large-scale pig farms[J]. *Chinese Livestock and Poultry Breeding*, 2012(4):85-87.
- [55] 王美芝, 赵婉莹, 吴中红, 等. 不同饮水器保育猪用水量及浪费水量对比试验[J]. 农业工程学报, 2017, 33(4):242-247. WANG M Z, ZHAO W Y, WU Z H, et al. Comparative experiment on total water consumption and waste water of pigs with different drinking appliances[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2017, 33(4):242-247.
- [56] 李晓晨, 潘长轩, 李雅竹, 等. 两种养猪模式耗水量的比较[J]. 当代畜牧, 2016(30):3-5. LI X C, PAN C X, LI Y Z, et al. Comparison of water consumption between two pig raising models[J]. *Contemporary Animal Husbandry*, 2016(30):3-5.
- [57] 赵国庄. 温度对猪的影响与猪舍采暖设施[J]. 养殖技术顾问, 2011(8):34. ZHAO G Z. The influence of temperature on pigs and the heating facilities of pigsty[J]. *Aquaculture Technical Consultant*, 2011(8):34.
- [58] 柏中峰, 王成磊. 规模化养猪场环境控制措施[J]. 吉林畜牧兽医, 2016, 37(2):23, 26. BAI Z F, WANG C L. Environmental control measures of large-scale pigsty[J]. *Jilin Animal Husbandry and Veterinary Medicine*, 2016, 37(2):23, 26.
- [59] 夏九龙, 刁华杰, 冯京海, 等. 温热环境对育肥猪体温调节的影响规律[J]. 动物营养学报, 2016, 28(11):3386-3390. XIA J L, DIAO H J, FENG J H, et al. Regularities of thermoregulation in finishing swine affected by thermal-humidity environment[J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2016, 28(11):3386-3390.
- [60] 张启和, 刘忠琛, 张明. 规模化养猪场环境控制措施:山东生态省建设与发展论文汇编[C]. 济南:山东省科学技术协会, 2004(4):263-266. ZHANG Q H, LIU Z C, ZHANG M. Environmental control measures for large-scale pigsty: Compilation of papers on the construction and development of Shandong ecological province[C]. Jinan: Shandong Science and Technology Association, 2004(4):263-266.
- [61] 阎刚. 生猪育肥快速增重八法[J]. 农业科学实验, 1987(11):32-33. YAN G. Eight methods for rapid weight gain in pig fattening[J]. *Agricultural Science Experiment*, 1987(11):32-33.
- [62] 王晶莹. 猪舍内小环境的控制[J]. 养殖技术顾问, 2014(3):27. WANG J Y. Control of small environment in pigsty[J]. *Aquaculture Technical Consultant*, 2014(3):27.