

赵华轩,李尚民,王 猛,等. 基于种养结合的种鹅场粪污养分管理模式研究[J]. 江苏农业科学,2021,49(23):219-225.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2021.23.038

基于种养结合的种鹅场粪污养分管理模式研究

赵华轩¹, 李尚民¹, 王 猛², 蒋一秀¹, 窦新红¹

(1. 江苏省家禽科学研究所,江苏扬州 225125;2. 南京农业大学动物科技学院家畜环境控制与智慧生产研究中心,江苏南京 210095)

摘要:以粪污“干清粪+水冲粪—堆肥+氧化塘—农田利用”的种养结合模式种鹅场为研究对象,探究不同收集处理方式下,粪污养分留存情况,制定鹅场粪污养分管理模式。该鹅场粪便氮、磷产生量为 28.105、7.665 t/年。最终还田的粪肥氮、磷供给量为 6.491、4.083 t/年,留存率为 23.10%、53.27%。干清粪收集过程氮、磷的留存率为 64.95%、72.47%,水冲粪过程为 32.00%、47.86%;堆肥处理过程氮、磷的留存率为 36.82% 和 76.19%,氧化塘贮存过程为 82.43% 和 84.91%。基于鹅场的粪污养分供给量及作物粪肥养分需求量,该鹅场粪肥氮磷供给情况为氮缺乏、磷过量。以氮投入为指标,14.66 hm² 配套农田年消纳固体有机粪肥 980 t,液体粪肥 13 600 m³,同时需配施含氮量 17% 的无机氮肥 9.21 t,此时磷投入有盈余。制定鹅场粪污养分管理模式有利于提高鹅粪利用水平,为鹅场实现种养结合循环农业提供科学支撑。

关键词:鹅粪;氮;磷;留存率;管理模式

中图分类号:X713

文献标志码:A

文章编号:1002-1302(2021)23-0219-06

随着我国畜牧业规模化和集约化程度的不断提高,畜禽养殖污染成为备受关注的焦点问题。畜禽粪污是放错了位置的资源,经妥善处理后作为有机肥还田利用,能够持续改善土壤团粒结构和养分状况,提升土壤品质^[1]。我国是世界第一养鹅大国,2016 年出栏量达 5.18 亿羽,占世界出栏总量的 90% 以上^[2]。规模鹅场一般采用干清粪和水冲粪相结合的清粪方式,通过堆肥^[2]、作为基质养殖蚯蚓^[3]、直接还田施用^[4]等方式处理固体粪便,污水则排入附近水体,极易造成周边水体污染。随着环保政策出台,鹅场逐步构建了“粪污收集—堆肥+氧化塘—农田利用”的种养结合模式,固体粪便经堆肥处理、液体粪污经氧化塘贮存处理后还田利用,实现了种养循环。受运输半径限制,鹅场主要利用周边配套的青绿饲料种植基地消纳粪肥,长期施用容易导致氮流失和磷累积等环境问题。

近年来,我国在猪场、奶牛场、鸡场等养殖场的种养结合模式方面研究较多^[5-7],形成了一系列的养分管理系统模型^[8-9],分析了粪污养分从产生、收集处理至还田利用过程的养分损失情况。贾伟等计算得出,奶牛场粪便在收集、处理和还田利用过程中的总氮(TN)、总磷(TP)留存率为 62% 和 84%^[10]。常志州等总结发现,畜禽粪便在清扫、堆积、还田过程中的 TN 留存率为 29%~80%,清扫、堆积、高温好氧堆肥、还田过程中的 TN 留存率为 6%~56%,清扫、厌氧发酵、贮存、还田过程中的 TN 留存率为 9%~51%^[11]。郭新发现,猪粪经干清粪、堆置、还田过程的 TN 留存率为 29%~80%,经干清粪、堆置、好氧堆肥、还田过程的 TN 留存率为 6%~56%,经干清粪、厌氧发酵、沼液贮存、还田过程的 TN 留存率为 9%~51%^[12]。

在粪肥还田过程中,仅有准确估算养殖场粪污养分供给量和农田作物粪肥养分需求量,制定合理的粪肥施用管理模式^[13-14],才能避免因粪肥还田造成的二次污染问题。目前,还未见种养结合模式下鹅场粪污养分管理方面的研究;不同的粪污收集和收集处理下,氮磷养分的留存情况尚不清楚。因此,本研究以采用“干清粪+水冲粪—堆肥+氧化塘—农田利用”种养结合模式的种鹅场为例,通过实地调研、粪污及土壤样品采样测定、文献参数搜集等方法,系统研究种鹅场的粪污养分供给情况,

收稿日期:2021-04-08

基金项目:江苏省重点研发计划(现代农业)项目(编号:BE2019347);江苏省第五期“333”工程培养资金资助项目;江苏省家禽遗传育种重点实验室资助项目(编号:JQLAB-ZZ-202004)。作者简介:赵华轩(1994—),男,江苏连云港人,硕士,研究实习生,主要从事家禽养殖环境控制及废弃物处理研究。E-mail:lyghzshx@163.com。

通信作者:李尚民,硕士,副研究员,主要从事家禽养殖环境控制及废弃物处理研究。E-mail:372317312@qq.com。

制定种鹅场的粪污养分管理模式,实现粪肥养分合理施用,为同类型鹅场开展粪污养分管理提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 鹅场相关资料

本研究选择东海县志远养鹅专业合作社的种鹅场作为研究对象。2020 年 10 月进行实地调研和鹅粪及土壤样品采样测定。该场位于江苏省连云港市东海县,年存栏种鹅约 2 万羽,清粪方式为人工干清粪和水冲粪相结合,处理方式为堆肥和氧化塘贮存处理。

1.1.1 鹅场粪污管理模式 由图 1 可知,鹅场固体粪便来自干清粪和水冲粪沉淀后的固体部分,统一运送至田间堆置区进行堆肥处理,作为有机肥用于种植甜高粱、黑麦草、青贮玉米和菊苣。冲洗污水全部进入粪沟,经管道汇入沉淀池静置沉淀后,液体粪污泵入氧化塘进行贮存。施肥时,液体粪肥通过管道输送至农田,与灌溉水一起施用还田。

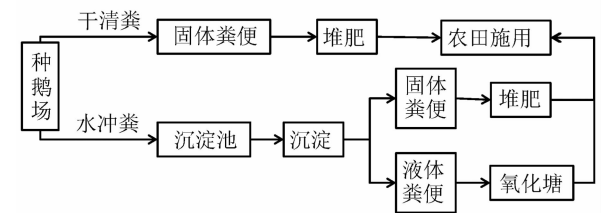


图1 鹅场粪污“干清粪+水冲粪—堆肥+氧化塘—农田利用”管理模式

1.1.2 粪污产生量及养分含量 参照孙国荣等的鹅粪收集技术^[15]进行采样测定,种鹅粪便日排泄量约为 350 g/羽。平均每 3 d 人工清扫完 1 次鹅场。10 月至次年 4 月,每 2 周冲洗 1 次,每个月清理 1 次沉淀池的固体粪便(约 14 t)。5—9 月,每周冲洗 1 次,每个月清理 2 次沉淀池(约 28 t)。因此,鹅场干清粪收集的固体粪便约为 815 t/年,水冲粪沉淀后的固体粪便约为 238 t/年,年产固体粪肥约 980 t。鹅场每次冲洗产生废水约 400 m³,年产冲洗废水 13 600 m³。

现场采集鹅场的新鲜粪便、干清粪、水冲粪固体粪便,鹅粪有机肥、冲洗废水和氧化塘贮存后,将液体粪肥样品带回实验室进行检测(表 1)。

1.2 配套农田种植参数

种鹅场的配套农田为山坡地,田间道路、灌溉管道设施完备,主要种植甜高粱、黑麦草、青贮玉米和菊苣,并利用小型机械或人工进行收割。鹅粪有

表 1 鹅场粪污的养分含量

样品类型	含水率 (%)	养分含量	
		TN(%)	TP(%)
新鲜鹅粪	77.13	4.810	1.312
干清粪	33.98	3.030	0.922
水冲粪固体鹅粪	70.04	0.932	0.476
鹅粪有机肥	54.92	1.414	0.914

样品类型	TN(mg/L)	TP(mg/L)
冲洗废水	21.80	3.916
液体粪肥	17.93	3.312

机肥和液体粪肥分别用作基肥和追肥,基肥施用在作物播种前,追肥施用在作物生育期。鹅粪有机肥表施后深翻入农田,液体粪肥利用管道输送至农田与灌溉水一起施用。

1.2.1 作物种植情况 根据当地气候条件,鹅场种植的甜高粱和菊苣为 1 年 1 季,每年收割 3 次;青贮玉米与黑麦草轮作,1 年各 1 季。根据现场调研,鹅场配套农田面积为 14.66 hm²,其中,甜高粱种植面积 6.66 hm²,年平均产量 112.5 t/hm²;黑麦草种植面积 5.33 hm²,年平均产量 22.5 t/hm²;青贮玉米与黑麦草轮作,年平均产量 45 t/hm²;菊苣种植面积 2.66 hm²,年平均产量 22.5 t/hm²。

1.2.2 作物养分需求量 不同作物形成 100 kg 产量的养分需求量差异较大。由表 2 可知,甜高粱形成 100 kg 茎秆产量的养分需求量根据籽实产量换算得出^[16],青贮玉米、黑麦草和菊苣养分需求参数参照已有文献^[10,17-18]换算得出。

表 2 种植作物养分需求量

作物种类	目标产量 (t/hm ²)	种植面积 (hm ²)	每 100 kg 产量养分需求量(kg)	
			N	P
甜高粱	112.5	6.66	0.180	0.04
黑麦草	22.5	5.33	0.340	0.04
青贮玉米	45.0	5.33	1.130	0.24
菊苣	22.5	2.66	0.154	0.02

1.2.3 农田土壤理化指标 4 种作物种植区域中,每种作物区域随机取 5 点土壤,混合成 1 个代表性土壤样品,进行土壤理化指标测定。土壤 pH 值为 7.2~8.1,有机质含量为 1.265%~2.869%,全氮含量为 0.64~0.92 g/kg,有效磷含量为 11.25~70.05 mg/kg(表 3)。根据全国第二次土壤普查养分分级标准,土壤肥力状况为:按有机质指标,青贮玉米土壤为缺乏,甜高粱、黑麦菜、菊苣土壤为中等;按全氮指标,青贮玉米土壤为很缺乏,甜高粱、

黑麦菜、菊苣土壤为缺乏;按有效磷指标,甜高粱土壤为很丰富,黑麦草土壤为丰富,青贮玉米和菊苣土壤为中等。配套农田土壤肥力总体呈现磷富余、有机质缺乏、氮极度缺乏的特征。

表 3 农田土壤理化指标

作物类型	有机质 (%)	养分含量		pH 值
		全氮 (g/kg)	有效磷 (mg/kg)	
甜高粱	2.704	0.92	70.05	7.2
黑麦草	2.063	0.83	32.36	7.4
青贮玉米	1.265	0.64	11.25	8.1
菊苣	2.869	0.87	13.22	7.5

1.3 计算方法

1.3.1 粪便和氮磷养分产生量 种鹅每天排泄的粪便和氮磷养分量乘以饲养周期及养殖数量,得到鹅粪和氮磷养分产生量^[16]。计算公式为:

$$Q = \sum N \times T \times P \times 10^{-6}; \quad (1)$$

式中: Q 为鹅粪或氮磷养分产生量, t/年; N 为饲养量,羽; T 为生长期,取 365 d; P 为粪便或氮磷养分的排泄系数, g/(羽·d)。

1.3.2 粪污养分收集量 鹅场的粪污养分收集量包括干清粪鹅粪、水冲粪沉淀后固体粪便和冲洗废水中的氮磷养分总量。计算公式为:

$$Q_p = m_{s1} \times \rho_{s1} \times (1 - w_1) + m_{s2} \times \rho_{s2} \times (1 - w_2) + V_l \times C_l \times 10^{-6}; \quad (2)$$

式中: Q_p 为鹅场的粪污氮磷养分收集量, t/年; m_{s1} 为干清粪粪便质量, t/年; ρ_{s1} 为干清粪粪便氮磷养分含量(以干基计), %; w_1 为干清粪固体粪便含水率, %; m_{s2} 为水冲粪固体粪便质量, t/年; ρ_{s2} 为水冲粪固体粪便氮磷养分含量, %; w_2 为水冲粪固体粪便含水率, %; V_l 为冲洗废水体积, m³/年; C_l 为冲洗废水氮磷养分含量, mg/L。

1.3.3 粪污养分供给量 鹅场的粪污养分供给量包括:鹅粪有机肥和氧化塘贮存的液体粪肥所提供的氮磷养分量。计算公式如下:

$$Q_r = m_s \times \rho_s \times (1 - w) + V_l' \times C_l' \times 10^{-6}; \quad (3)$$

式中: Q_r 为粪污养分供给量, t/年; m_s 为鹅粪有机肥质量, t/年; ρ_s 为鹅粪有机肥的氮磷养分含量(以干基计), %; w 为鹅粪有机肥含水率, %; V_l' 为液体粪肥的体积, m³/年; C_l' 为液体粪肥氮磷养分含量, mg/L。

1.3.4 作物养分总需求量 根据鹅场配套农田作物产量和单位产量的养分需求量,得到作物养分总需求量。计算公式如下:

$$A_{n,i} = \sum (P_{r,i} \times Q_i \times 10^{-2}); \quad (4)$$

式中: $A_{n,i}$ 为作物氮磷养分需求量, kg/年; $P_{r,i}$ 为第 i 种作物总产量, kg/年; Q_i 为第 i 种作物形成 100 kg 产量的氮磷养分需求量, kg。

1.3.5 作物粪肥养分需求量 根据不同土壤肥力下,农田作物氮磷养分总需求量、施肥供给养分占比、粪肥占施肥比例和粪肥当季利用率测算作物粪肥养分需求量,计算公式为:

$$A_{n,m} = \frac{A_{n,i} \times FP \times MP}{MR}; \quad (5)$$

式中, $A_{n,m}$ 为作物粪肥养分需求量, t/年; $A_{n,i}$ 为作物养分总需求量, t/年; FP 为作物养分总需求中施肥供给养分占比, %; 氮磷施肥供给养分占比根据土壤氮磷养分含量确定^[16]; MP 为畜禽粪肥养分需求量占施肥养分总量的比例, %; 本研究基于种鹅场粪肥施用实际, MP 取值为 100%; MR 为粪肥养分当季利用率, %, 本研究中 MR 取值为 30%。

1.3.6 农田粪肥施用量 单位面积粪肥施用量根据粪肥养分含量测定值进行计算。公式如下:

$$M_i = \frac{A_{n,i}}{C_i}; \quad (6)$$

式中: M_i 为第 i 种作物单位面积预期产量下需要的粪肥量, t/hm²; $A_{n,i}$ 为第 i 种作物粪肥养分需求量, t/年; C_i 为施入农田粪肥的养分含量, %。

农田粪肥施用量由每种作物的粪肥施用面积和单位面积粪肥施用量计算得到。公式为:

$$TM = \sum S_i \times M_i; \quad (7)$$

式中: TM 为农田粪肥施用量, t/年; S_i 为第 i 种作物粪肥施用面积, hm²。

2 结果与分析

2.1 粪便和养分产生量

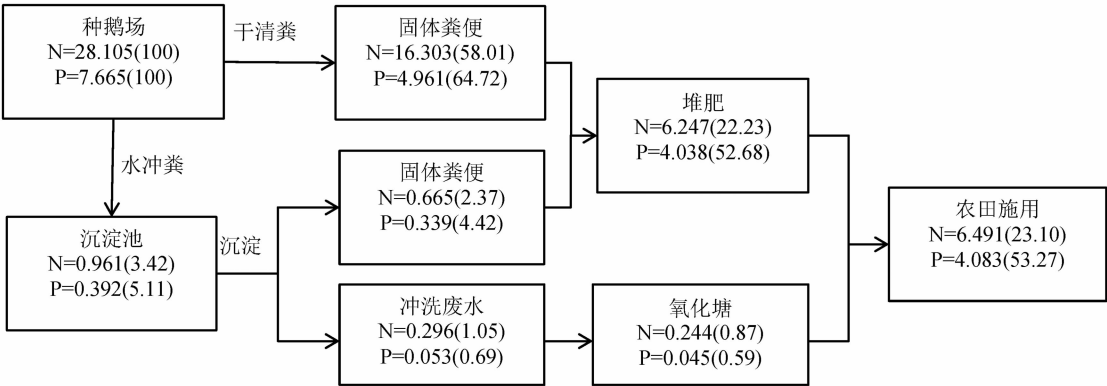
种鹅粪便日排泄量约为 350 g/羽,粪便 TN、TP 的日排泄量分别为 3.85 和 1.05 g/羽。因此,鹅场粪便产生量为 2 555 t/年,粪便 TN、TP 产生量分别为 28.105、7.665 t/年。

2.2 鹅场粪污养分供给量

根据鹅场粪污收集处理过程,核算粪污“干清粪+水冲粪—堆肥+氧化塘—农田利用”模式种鹅场粪污管理过程的养分留存情况。由图 2 可知,鹅场粪便 TN 产生量为 28.105 t/年,TP 产生量为 7.665 t/年。干清粪工艺的氮磷收集量为 16.303、4.961 t/年,水冲粪沉淀后固体粪便的氮磷收集量

为 0.665、0.339 t/年。固体粪便经堆肥处理,最终可还田利用的氮磷留存量 6.247、4.038 t/年。水冲粪沉淀后,液体粪污的氮磷收集量为 0.296、0.053 t/年。液体粪污经氧化塘贮存处理,最终可

还田利用的氮、磷留存量 0.244、0.045 t/年。综上可知,该鹅场的粪污经收集处理后,可还田施用的氮磷留存量 6.491、4.083 t/年,氮磷养分留存率为 23.10% 和 53.27%。



括号外数字为氮磷养分留存量, t/年; 括号内数字为氮磷养分留存率, %

图2 鹅场粪污管理过程的养分留存情况

2.3 粪污养分留存率

根据鹅场粪污管理过程的养分留存情况计算不同粪污收集方式(干清粪和水冲粪)和处理方式(堆肥和氧化塘贮存)的养分留存率,结果(表4)表明,干清粪过程 TN、TP 留存率为 64.95% 和 72.47%,水冲粪过程为 32.00% 和 47.86%;堆肥处理过程 TN、TP 留存率为 36.82% 和 76.19%,氧化塘贮存处理过程为 82.43% 和 84.91%。上述结果表明,鹅粪收集处理过程中,TN 留存率一直高于 TP,水冲粪收集过程氮磷损失较多,堆肥处理过程氮损失严重。因此,鹅场要优化粪污收集处理方式,保留更多养分以供资源化利用。

表4 不同粪污收集处理方式下的养分留存率

收集处理 方式	养分排放量 (t/年)		养分留存量 (t/年)		养分留存率 (%)	
	TN	TP	TN	TP	TN	TP
干清粪	25.102	6.846	16.303	4.961	64.95	72.47
水冲粪	3.003	0.819	0.961	0.392	32.00	47.86
堆肥	16.968	5.300	6.247	4.038	36.82	76.19
氧化塘贮存	0.296	0.053	0.244	0.045	82.43	84.91

2.4 农田粪肥养分需求量

甜高粱、黑麦草、青贮玉米和菊苣的单位面积作物养分需求量见表5。由表5可知,基于单位面积作物养分需求量,考虑作物总养分需求量中需要施肥的比例、粪肥占施肥比例和粪肥当季利用率,估算农田不同作物的粪肥养分需求量。根据土壤全氮和有效磷含量可知,菊苣和青贮玉米土壤氮磷

养分分级为Ⅲ级,施肥占比推荐值为55%,甜高粱和黑麦草土壤氮磷养分分级为Ⅱ级,施肥占比推荐值为45%。粪肥占施肥比例取值为100%,粪肥氮磷养分当季利用率取值均为30%。计算可知,农田作物粪肥氮、磷总需求量分别为7.77、1.60 t/年。

可还田施用的粪肥氮、磷供给量为6.491、4.083 t/年。因此,配套农田可以完全消纳鹅场粪便中的氮,但会导致土壤磷盈余。考虑当前部分农田土壤磷含量仍处于中等水平的现状,为维持农业高效生产,建议以农田粪肥氮需求量为指标施用粪肥,并合理配施无机氮肥;同时定期监测土壤磷含量,当土壤磷含量达到警戒值时,需以农田粪肥磷养分需求量为指标施用粪肥。

2.5 农田粪肥施用管理模式

根据鹅场粪肥养分供给量及配套农田粪肥养分需求量,制定农田粪肥施用管理模式。由表6可知,设定农田作物粪肥施用方式为固体有机粪肥做基肥、液体粪肥做追肥。液体粪肥通过管道按面积平均施用。

配套农田液体粪肥施用量平均为680 m³/hm²。以N投入为基础,甜高粱、黑麦草、青贮玉米、菊苣的单位面积基肥施用量分别为45.74、16.09、144.34、8.05 t/hm²,共需基肥1181.67 t/年;以P投入为基础,甜高粱、黑麦草、青贮玉米、菊苣的单位面积基肥施用量分别为15.84、2.73、47.51、1.46 t/hm²,共需基肥377.33 t/年。

该农田粪肥施用管理模式表明,以氮投入为指

表 5 农田作物粪肥养分需求量

作物	施用粪肥 面积(hm^2)	目标产量 (t/hm^2)	单位面积作物养分需求量 (kg/hm^2)		单位面积粪肥养分需求量 (kg/hm^2)		粪肥养分需求量 ($\text{t}/\text{年}$)	
			N	P	N	P	N	P
甜高粱	6.66	112.5	202.50	45.0	303.75	67.50	2.02	0.45
黑麦草	5.33	22.5	76.50	9.0	114.75	13.50	0.61	0.07
青贮玉米	5.33	45.0	508.50	108.0	932.25	198.00	4.97	1.06
菊苣	2.66	22.5	34.65	4.5	63.53	8.25	0.17	0.02
合计	20.00	—	—	—	—	—	7.77	1.60

表 6 农田粪肥施用管理模式

作物	施肥面积 (hm^2)	单位面积施用量			施用总量		
		基肥(t/hm^2)		追肥 (m^3/hm^2)	基肥($\text{t}/\text{年}$)		追肥 ($\text{m}^3/\text{年}$)
		N	P		N	P	
甜高粱	6.67	45.74	15.84	680	305.09	105.65	4 536
黑麦草	5.33	16.09	2.73	680	85.76	14.55	3 624
青贮玉米	5.33	144.34	47.51	680	769.33	253.23	3 624
菊苣	2.67	8.05	1.46	680	21.49	3.90	1 816
合计	20.00				1 181.67	377.33	13 600

标,配套农田可完全消纳种鹅场产生的液体粪肥和固体粪肥,同时,为保证作物生长,需配施含氮量为 17% 的无机氮肥 9.21 t。设置青贮玉米农田土壤配施无机氮肥,则青贮玉米农田配施的无机氮肥量为 1.73 t/hm^2 。以磷投入为指标,配套农田年利用固体粪肥 377.33 t,此时粪肥中的磷在土壤中累积,持续改善农田土壤养分状况。由表 6 可知,鹅场配套农田土壤氮缺乏、磷比较充足,但部分农田土壤磷含量仍有提升空间。在土壤养分未超标的情况下,可以以氮投入为指标施用粪肥。因此,实施种养结合的循环农业时,要制定合理的农田粪肥施用管理模式,做到精准施用粪肥。

3 结论与讨论

3.1 不同收集处理方式对鹅粪养分留存情况的影响

畜禽粪肥从产生到农田利用过程中,经历了多重养分损失阶段,最终可施用于农田的粪肥养分量,远低于新鲜粪便的养分产生量。贾伟等对粪污固液分离、堆肥和氧化塘贮存处理、还田利用模式的奶牛场粪肥养分留存情况进行理论计算,发现粪污氮、磷养分留存率为 62% 和 84%^[10]。本研究的种鹅场粪污在干清粪和水冲粪收集、堆肥和氧化塘贮存处理、还田过程的 TN、TP 留存率为 23.10% 和

53.27%。因此,要采取措施提高鹅场粪污的氮磷留存率,降低养分损失和对环境的污染。

在鹅粪收集处理过程中,TN 留存率一直低于 TP 留存率,这主要是由于氮易于化学转化,可通过 NH_3 和 N_2O 挥发损失;磷化学形态则较为稳定,更多地保留在粪肥中。水冲粪过程 TN、TP 的留存率都较低,原因在于水冲粪过程中氮磷经历了吸附、径流、挥发等作用,水冲粪沉淀后固体粪便晾晒过程也会导致氮磷损失严重。已有研究分析粪污收集过程中氮磷养分留存情况,发现猪场干清粪过程 TN 留存率为 65% ~ 80%^[12],奶牛场干清粪过程 TN、TP 留存率为 40% 和 60%^[19],水冲粪过程 TN、TP 留存率分别为 90% 和 95%^[20]。因此,建议种鹅场多采用干清粪收集方式,这也是规模养殖场主要的粪污收集方式^[21]。在鹅场粪污处理过程中,堆肥处理过程 TN 损失较大,主要由于开放式堆肥过程 NH_3 挥发作用强烈。刘烨等总结农业废弃物厌氧发酵及堆肥过程氮素变化,发现氮元素主要转变为 NH_3 和 N_2O 等气体损失,堆肥过程 TN 留存率为 57.66% ~ 80.85%;沼液贮存过程 TN 留存率为 62.69% ~ 95.50%^[22];畜禽粪便与秸秆发酵沼液静置贮存 30 d 后 TN 留存率为 54.88%^[23];吴华山等探究猪粪沼液贮存过程中养分变化,发现贮存 90 d 的沼液中 TN、TP 含量留存率分别为 15.69% ~

32.78%, 6.55% ~ 40.30%^[24]。相较已有研究, 鹅粪堆肥过程氮素损失较大, 应采取保氮措施, 降低堆肥过程氨挥发作用。如采取覆盖措施^[25], 调节堆肥过程的物料参数^[2,11], 堆肥时加入生物炭、沸石、锯末等吸附材料吸附氨气^[26-27], 加入硫酸、竹醋酸、明矾等酸化剂以降低堆肥 pH 值^[28-29], 堆肥过程添加固氮菌剂^[30]等。

3.2 种养结合模式下的农田粪肥养分施用量

随着畜牧业规模养殖迅猛发展, 畜禽粪污面源污染已经严重制约我国生态农业发展和乡村振兴, 这就要求推行高效生态循环的种养结合模式。江苏是农业大省, 农田经数千年耕种, 土壤贫瘠, 迫切需要统筹考虑环境承载能力, 推行粪污全量还田技术。欧盟成员国以粪肥 N 投入作为指标, 硝酸盐敏感区设定粪肥氮年施用量为 170 kg/hm², 也有一些欧盟成员国以粪肥磷投入为指标, 要求土壤粪肥磷年施用量不超过 35 kg/hm², 以防止过量磷流失, 造成水体富营养化^[31]。本研究发现, 农田作物单位面积粪肥 TN、TP 需求量分别为 63.53 ~ 932.25 kg/hm² 和 8.25 ~ 198 kg/hm²。鹅场年产 980 t 固体有机粪肥和 13 600 m³ 液体粪肥, 以氮为基础, 需配施无机氮肥, 且粪肥中的磷在农田土壤中累积。在农田土壤养分未超标的情况下, 可以允许较高的粪肥施用量, 改善土壤肥力。在江苏这个养殖量大、种植面积有限的省份, 推行种养结合、粪污还田的循环农业时, 长期施用粪肥的土壤应定期检测土壤养分含量, 当农田土壤磷含量达到警戒值时, 需以土壤磷投入为指标, 进行粪肥施用, 过量粪肥制成有机肥售卖或运送至其他土地施用。

综上所述, 对粪污“干清粪 + 水冲粪—堆肥 + 氧化塘—农田利用”种养结合模式的鹅场进行粪污养分管理, 存栏量 2 万羽的鹅场 TN、TP 排放量分别为 28.105、7.665 t/年, 可还田利用的粪肥 TN、TP 供给量为 6.491、4.083 t/年, 留存率为 23.10% 和 53.27%。鹅场应多采用干清粪收集方式, 堆肥处理过程粪便氮素损失较大, 应采取保氮措施。基于氮磷养分平衡的农田粪肥养分施用管理策略, 该鹅场粪肥氮磷养分供给情况为氮缺乏、磷过量。要制定合理的鹅场粪肥养分管理模式, 提高粪肥利用水平, 实现循环农业绿色可持续性发展。

参考文献:

[1] 方热军, 印遇龙, 胡民强, 等. 鹅粪与化肥对牧草产量及其营养成分

的影响[J]. 草业科学, 2004, 21(3): 39-42.

[2] 黄晓凤, 杨旭生, 王启贵, 等. 碳氮比对鹅粪渣—玉米秸秆混合堆肥效果的影响[J]. 西南农业学报, 2019, 32(5): 1127-1132.

[3] 高超群, 赵帆, 隋玉健. 不同畜禽基料对蚯蚓养殖的影响[J]. 吉林畜牧兽医, 2018, 39(2): 47, 49.

[4] 胡民强, 方热军, 邢廷铨, 等. 施用鹅粪与化肥对牧草生物量和土壤肥力的影响[J]. 草业科学, 1995, 12(3): 10-13.

[5] 盛婧, 孙国峰, 郑建初. 典型粪污处理模式下规模养猪场农牧结合规模配置研究 I. 固液分离—液体厌氧发酵模式[J]. 中国生态农业学报, 2015, 23(2): 199-206.

[6] 盛婧, 孙国峰, 郑建初. 典型粪污处理模式下规模养猪场农牧结合规模配置研究 II. 粪污直接厌氧发酵处理模式[J]. 中国生态农业学报, 2015, 23(7): 886-891.

[7] 张盛南, 王永颖, 王煦, 等. 规模化奶牛场不同粪污处理技术模式分析[J]. 中国乳业, 2019(1): 35-39.

[8] De S, Bezuglov A. Data model for a decision support in comprehensive nutrient management in the United States [J]. Environmental Modelling & Software, 2006, 21(6): 852-867.

[9] 相润, 吴树彪, 庞昌乐, 等. 畜禽养殖业污染控制决策支持系统的构建[J]. 中国沼气, 2012, 30(2): 3-5, 24.

[10] 贾伟, 朱志平, 陈永杏, 等. 典型种养结合奶牛场粪便养分管理模式[J]. 农业工程学报, 2017, 33(12): 209-217.

[11] 常志州, 靳红梅, 黄红英, 等. 畜禽养殖场粪便清扫、堆积及处理单元氮损失率研究[J]. 农业环境科学学报, 2013, 32(5): 1068-1077.

[12] 郭新. 规模化养猪场废弃物处理过程中氮素损失特征及降低氮损失途径研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2015.

[13] Hilborn D, Brown C. Development and utilization of OMAFRA nutrient management computer program (NManpc.) [R]. Winnipeg, MB: CSAE/SCGR, 1995.

[14] Ma K K Y. MCLONE3: A decision support system for managing liquid dairy and swine manure [D]. Ontario: the University of Guelph, 1997.

[15] 孙国荣, 何大乾, 沈洪民, 等. 鹅排泄物收集技术及蛋白质净利用率研究[J]. 中国饲料, 2005(19): 24-25.

[16] 农业部办公厅. 畜禽粪污土地承载力测算技术指南[Z]. 2018.

[17] 李小坤, 李文西, 鲁剑巍, 等. 施肥对黑麦草产量和氮磷钾养分吸收的影响[J]. 中国农学通报, 2006, 22(7): 331-334.

[18] 孟林, 张国芳, 高洪文. 氮磷钾施肥量对饲用菊苣生产性能的影响[J]. 草地学报, 2003, 11(4): 325-328.

[19] Bicudo J R. Agricultural mechanization and automation - Vol. II - Animal solid manure: storage, handling and disposal [C]//United nations educational, scientific and cultural organization (UNESCO), 1997.

[20] 卢健. 奶牛场排泄物产生、收集、堆积及处理过程中氮、磷变化研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2013.

[21] 祝其丽, 李清, 胡启春, 等. 猪场清粪方式调查与沼气工程适用性分析[J]. 中国沼气, 2011, 29(1): 26-28, 47.

[22] 刘烨, 赵立欣, 沈玉君, 等. 农业废弃物厌氧发酵及沼肥利用全过程碳氮变化研究[J]. 中国沼气, 2018, 36(1): 65-70.

杨波,于志会. 华北落叶松根际土壤氮素细菌类群和氮素代谢研究[J]. 江苏农业科学,2021,49(23):225-231.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2021.23.039

华北落叶松根际土壤氮素细菌类群和氮素代谢研究

杨波¹, 于志会²

(1. 吉林农业科技学院农学院, 吉林吉林 132101; 2. 北华大学林学院, 吉林吉林 132013)

摘要:采用经典的统计学方法和相关性及排序分析,连续3年(2017—2019年)研究不同林龄华北落叶松(幼林、中林、成熟林和过熟林)根际土壤氮素细菌类群和氮素代谢,并探讨了土壤氮素细菌类群和土壤养分含量之间的关系。结果表明:(1)华北落叶松根际土壤 pH 值显著低于非根际土壤($P < 0.05$),根际土壤有机碳、全氮和有效磷的含量均显著高于非根际土壤(过熟林除外),根际和非根际土壤有机碳、全氮和有效磷的含量呈一致的变化趋势,随着华北落叶松林龄的增长表现出先增加后降低的趋势,在成熟林阶段达到最大值。(2)华北落叶松根际和非根际物种丰富度指数、均匀度指数和碳源利用指数随着林龄增加呈先增加后降低趋势,在成熟林阶段达到最大值;幼林、中林和成熟林根际丰富度指数、均匀度指数和碳源利用指数显著高于非根际土壤,而过熟林根际与非根际土壤差异不显著。不同林龄根际与非根际土壤微生物优势度指数差异不显著。(3)参与氮素循环的细菌共4类11属,其中固氮细菌有拜叶林克氏菌属、慢生根瘤菌属、根瘤菌属和弗兰克氏菌属,硝化细菌有硝化杆菌属和亚硝化螺菌属,反硝化细菌有假单胞菌属、罗尔斯通菌属、伯克氏菌属、芽孢杆菌属和链霉菌属,氨化细菌有芽孢杆菌属和假单胞菌属。(4)土壤养分含量和微生物多样性指数与固氮细菌相对丰度密切相关,其中土壤 pH 值对土壤固氮细菌相对丰度贡献为负,土壤养分含量对土壤固氮细菌相对丰度贡献为正,是土壤固氮细菌相对丰度的重要影响因素。(5)冗余分析结果显示,土壤环境因子分别解释了根际和非根际土壤固氮细菌相对丰度的 83.38% 和 80.93% 的总特征值,由此表明,土壤环境因子对土壤固氮细菌相对丰度有显著影响。其中对土壤固氮细菌相对丰度影响较大的有有机碳含量和全氮含量,而 pH 值对土壤固氮细菌相对丰度影响为负。

关键词:华北落叶松;土壤养分;土壤固氮细菌;土壤微生物;多样性指数;冗余分析

中图分类号: Q157 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2021)23-0225-07

陆地生态的研究视角,不仅具有重要的生态特性,更为关键的是具有特殊性,主要原因在于它是人类生产生活的直接承载者,此外,更是大量动植物生长发育的空间载体^[1-2]。毫无疑问其重要性不

言而喻,在人类生产生活过程中扮演着极其关键的角色。而其中具有多种生态子系统,其土壤生态等重要性尤为突出,究其原因主要在于大量植被在其生长过程中需要必备的养分及水分^[3-4]。而土壤成为了其有效的供应载体,此外,人类粮食作物及蔬菜种植等过程中也离不开土壤的支持^[5]。无论是水分还是养分,都受制于土壤状况,尤其是活性和肥力方面,其起着决定性作用^[6-8]。正因为如此,居

收稿日期:2021-06-09

基金项目:吉林省教育厅科学技术项目(编号:JKH20200388KJ)。

作者简介:杨波(1979—),男,河北保定人,硕士,副教授,从事生态环境系统理论与技术研究。E-mail: yangboo7904@126.com。

[23] 刘 烨,孟海波,王 健,等. 畜禽粪便与秸秆混合发酵及贮藏阶段沼液中碳氮元素变化[J]. 农业环境科学学报,2018,37(9):2045-2051.

[24] 吴华山,郭德杰,马 艳,等. 猪粪沼液贮存过程中养分变化[J]. 农业环境科学学报,2012,31(12):2493-2499.

[25] 江 滔, Frank Schuchardt, 李国学. 冬季堆肥中翻堆和覆盖对温室气体和氨气排放的影响[J]. 农业工程学报,2011,27(10):212-217.

[26] 马艳茹,孟海波,沈玉君,等. 改性生物炭对沼液氨氮的吸附效果研究[J]. 中国农业科技导报,2018,20(11):135-144.

[27] 朱海生,左福元,董红敏,等. 锯末添加比例对牛粪贮存过程中氨气和温室气体排放的影响[J]. 西南大学学报(自然科学

版),2017,39(3):34-40.

[28] 王敦球,曾全方,左 华,等. 竹醋酸在猪粪堆肥中的保氮作用[J]. 桂林工学院学报,2006,26(1):37-40.

[29] 张朋月,丁京涛,孟海波,等. 牛粪水酸化贮存过程中氮形态转化的特性研究[J]. 农业工程学报,2020,36(8):212-218.

[30] 李 静,陈志良. 接种硝化菌剂降低猪粪堆肥氮素损失的研究[J]. 安徽农业科学,2011,39(15):8976-8978.

[31] Schröder J J, Scholefield D, Cabral F, et al. The effects of nutrient losses from agriculture on ground and surface water quality: the position of science in developing indicators for regulation [J]. Environmental Science & Policy, 2004, 7(1):15-23.