

养殖场厌氧消化沼液后处理技术研究进展

管秀琼, 刘林培, 刘春

(四川理工学院造纸科学与技术研究所, 四川 自贡 643000)

摘要:我国养殖场厌氧消化后的沼液多数不能就地消纳,成为制约养殖场沼气工程发展的主要因素。国内外对沼液后处理技术研究较多,研究中多采用不同预处理方式去除不溶性COD和SS,其中化学法、催化氧化及电化学法能去除部分TN和TP,以降低后续处理负荷,而化学法中沉淀物可用于制备缓释肥料。后处理技术中主要有以资源化利用为目的的蒸发浓缩和膜分离工艺,以回用或者排放为目的的A/O、SBBR、人工湿地等为主的生物处理法组合工艺。发展低能耗、低投入、高效率和资源利用的预处理方法及后处理技术,更利于养殖场沼液处理技术的推广和应用。

关键词:消化沼液;后处理技术;养殖场

中图分类号:X703; S216.4

文献标志码:A

引言

随着国民经济的发展及生活水平的提高,人们的生活需求结构也随之发生变化,我国畜禽养殖业不断发展,产值已超过农业总产值的1/3,成为我国农业的重要支柱产业。我国是世界畜禽生产第一大国,同时也是第一消费大国^[1-2]。“十三五”期间乃至未来一段时间内,我国养殖产品需求仍呈刚性增长,但是养殖业面临资源短缺日趋严重、环境制约日益加剧等不利局面。据统计,我国畜禽粪便产量每年约为31.90亿吨。其中40%的畜禽废弃物得不到有效处理,造成严重的环境污染^[3-4]。

厌氧消化是处理该污染的一种重要技术手段,因此,沼气工程在畜禽养殖业中得到了广泛应用和发展^[5]。在利用畜禽排泄物产生沼气的同时,还会产生大量的厌氧消化沼液。沼液中有机物浓度和营养成分较

高,如不能有效处置或利用,不仅会造成污染,也会造成资源的浪费^[6-7]。

1 消化液特性

沼液中有有机物浓度和营养成分较高,总固体含量1%~2%,pH值成微碱性,富含大量氮、磷、钾和多种微量元素、水解酶、氨基酸、有机酸、腐殖酸、生长素、赤霉素、B族维生素、细胞分裂素及某些抗菌素等生物活性物质,对作物的生长、防治作物病害和改良土壤性状等有多重功效^[8-10],施用沼液对瓜、菜、茶、果等作物在产量和品质上均有不同程度的提高^[11-13]。

沼液中的重金属含量随饲料、兽药的使用不同而具有较大差异,畜禽养殖中使用的部分饲料和兽药在生产过程中添加了含有重金属的添加剂,如铜和锌等重金属元素,绝大部分通过粪便及尿液排出,造成部分养殖场

收稿日期:2017-11-30

基金项目:青海省科技厅项目(2015-NN-E01)

作者简介:管秀琼(1971-),女,四川富顺人,教授,主要从事水污染方面的研究,(E-mail)xqguan@suse.edu.cn

沼液中重金属超标^[14-16]。土壤中重金属元素富集,导致蔬菜污染,再通过食物链进入人体,使人体产生慢性中毒,严重影响人们的身体健康^[17-18]。

沼液在满足施用条件的情况下,最好的处置方式为田间施肥。但多数养殖场沼气工程周边并没有足够的土地用于沼液消纳,且养殖场沼液 BOD₅/COD 低,可生化性差,C/N/P 不合理,氨氮、TP 浓度高,部分沼液重金属超标等,加大了养殖场沼液的处理难度。因此,探究高效的沼液处理技术成为当务之急。

2 消化液预处理技术

消化沼液经静置沉淀后 COD 及 SS 含量仍较高,其中的不可溶有机质是沼液 COD 的主要组成部分,对后续利用及处理造成很大影响^[19]。经预处理后沼液的有机污染负荷和高浓度的 SS 大量去除,可减轻后续处理的难度。

2.1 混凝及絮凝

混凝及絮凝法是常用的一种预处理方式,冯亮等^[20]采用化学絮凝剂对猪沼液进行处理,以聚合氯化铝(PAC)为絮凝剂,聚丙烯酰胺(PAM)作为助凝剂,使后续处理中活性污泥的活性明显提升,并降低后续生物处理 COD 值约 34%,对氨氮去除效果无影响,经预处理后 MBR 膜污染的速率明显降低。Lee s h 等^[21]采用化学絮凝处理能有效去除养猪沼液中的胶体和悬浮颗粒物质,降低色度,提升其可生化性,改善后续生物处理环境,减轻生物处理负荷。

石春芳等^[22]采用从剩余污泥中制备的生物絮凝剂对沼液进行絮凝处理,结果表明:生物絮凝剂对沼液有较好的絮凝效果,在最优条件下,沼液经生物絮凝剂预处理后 COD、总氮、悬浮物的去除率分别可达 96%、65% 及 53% 以上,色度明显降低。

利用混凝或絮凝的方式对沼液中的不可溶 COD 及 SS 具有较好的处理效果,色度也会明显降低,沼液可生化性提高,进而降低后续处理的难度。

2.2 化学法

沼液化学法处理主要是采用鸟粪石沉淀(MAP)工艺为主,将沼液中的氨氮和磷以磷酸铵镁的形式沉淀出来,沉淀产物含有丰富的营养物质,可用于缓释肥料的生产。白晓凤等^[23]利用吹脱+MAP 组合工艺处理中温

厌氧发酵沼液。经 6 h 的吹脱和 20 min 的 MAP 沉淀,沼液中的氨氮、总磷、COD 及 SS 去除率分别达到 95.7%、79.8%、41% 和 33%,出水 pH 值在 8.3 左右,可满足生化处理的进水要求。同时,MAP 沉淀处理后的出水 C/N 比提升明显,从 0.7 上升到 10,有利于后续生化系统的进一步处理。陶智伟等^[24]采用磷酸铵镁(MAP)结晶法回收养猪沼液中的氮、磷等营养元素,选择 MgSO₄ 和 Na₂HPO₃ 的药剂组合时氨氮的回收率能达到 80%。1 m³猪场废水最多可以回收 171 g 鸟粪石(不投加磷酸盐),采用连续流 MAP 结晶反应器处理养猪沼液回收鸟粪石,最佳工况条件下 MAP 产量能够达到 7.393 kg/t 沼液,总费用为 0.8 元/吨沼液,处理费用较低。张正红等^[25]针对鸟粪石结晶法回收沼液中氨氮和磷酸盐时生成的晶体细小、不易与水分离等问题,采用鸟粪石结晶法和絮凝法相结合的工艺处理沼液,同步富集回收沼液中氮、磷及各种有机质。采用改性壳聚糖絮凝剂,改善反应体系的沉降性能,氨氮、TP、COD 的总去除率分别为 81.2%、75.8% 和 62.6%。

氨氮和 TP 去除是沼液后处理技术的难点,采用 MAP 预处理可降低沼液中的氨氮和 TP,从而降低后续处理的污染负荷,也为处理沼液达标排放提供了可能。

2.3 催化氧化

催化或氧化技术可以降低沼液的 COD、总氮及氨氮,可用于沼液的预处理减轻后续沼液处理的负荷。光催化氧化法利用半导体的特性,在光的照射下吸附光子起催化剂的作用,生成反应基氧化污染物质,并使之矿化。江晖等^[26]通过超声波和二氧化钛光催化反应对畜禽养殖场沼液进行脱氮处理,超声处理沼液总氮、氨氮去除率分别为 65.39% 和 68.84%;二氧化钛光催化处理沼液总氮、氨氮去除率分别为 44.76% 和 39.90%;联合光催化和超声波对沼液进行脱氮处理后,沼液的总氮、氨氮去除率分别达到 84.21% 和 83.58%,实现了联用方法的协同效应。

曾鑫等^[27]在 MAP 沉淀处理的基础上,采用臭氧氧化技术对养猪场厌氧沼液进行处理,COD 去除率可达 21.7%。此外,臭氧氧化能把 BOD/COD 的比值从 0.24 提高为 0.41,有效提高了沼液的可生化性。同 Cortez s^[28]和 Daza a^[29] 研究结果一样,发现在过程中,氨氮浓度降

低,但硝态氮浓度升高,总氮较稳定,故采用臭氧氧化技术处理时,无法做到完全脱氮,只是把氨氮转化成硝态氮,使得出水氨氮浓度降低。

2.4 电化学法

电化学技术中使用清洁、有效的电子作为强氧化还原试剂,用于处理废水中的污染物质,是一种对环境基本无污染的绿色处理技术。王静等^[30]采用 PACT 工艺协同电催化工艺对养猪场沼液进行处理,COD 去除率达 95% 以上,对氨氮去除率达 91% 以上。系统稳定、抗负荷冲击能力强,基本不产生淤泥,无需投加药剂。出水各项指标均优于排放标准,可以进行循环利用。马焕春等^[31]采用石墨为电极,研究了电化学法对沼液预处理效果,在最佳条件下(极电压 10 V,反应时间 3.0 h,极板间距 20 ITln,初始 pH 值为 5.0)COD 和 TP 的最优去除率分别可达 59% 和 46.58%,还可增加曝气量用以提高 COD 去除效果。

微电解技术利用铁-碳颗粒之间存在着电位差而形成无数个细微原电池,在含有酸性电解质污染物的水溶液中发生电化学反应,同时引发吸附、絮凝和沉淀作用,利用多种作用综合效应去除污染物质。刘庆玉等^[32]通过曝气振荡的铁碳微电解处理沼液,结果表明:活性炭对沼液中氨氮,COD 和 $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$ 有一定的吸附作用,吸附稳定后对沼液的去除效果很弱。pH 值为 3 时,三者的去除率相对处于最佳状态;Fe/C 质量比为 1:1 时, $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$ 和氨氮去除率分别高达 63.19% 和 20.41%,当 Fe/C 质量比为 3:1 时,COD 去除率最高达 35.06%。何佼等^[33]利用铁碳微电解去除猪场沼液中的氨氮,当温度为 $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$,铁碳比为 1:1,pH 值为 3,反应时间为 60 min 时氨氮的去除率为 34.01%。

曹琳等^[34]从生物质能源利用的角度,实验构建单室无膜空气阴极微生物燃料电池,以碳布作为阴阳极材料,将牛粪沼液作为接种液及底物进行产电性能测试,同时考察了 MFC 对该沼液的降解效果。结果表明,MFC 能够利用沼液进行产电,且 MFC 的运行对沼液中的有机物、氮、磷等物质具有一定的降解能力,24 h 内去除率分别达到 20.73%、67.82% 和 72.56%。

电化学处理技术可部分去除养殖场沼液的 COD、氨氮和 TP,除微电解外不需添加其他化学药品,是一种绿

色的处理工艺。但高电耗、微电解技术中 pH 值调节用酸成本等是阻碍电化学技术应用于养殖场沼液处理的主要原因。

3 后处理技术

3.1 浓缩

3.1.1 蒸发浓缩

唐弓斌等^[35]采用 MVR 技术对沼液进行三效蒸发,经处理后的水能到达 II 类水标准,并获得浓缩液,可作为液肥的基础肥。在工艺中采用太阳能、热声发动机、空气能热泵等节能技术,综合效益较为显著,可适用于中小型禽畜养殖场沼液的处理。比常规沼液污水处理投资低 30%~50%。

焦有宙等^[36]对沼液采用负压蒸发浓缩工艺,可有效防止沼液中有效成分的流失。邓蓉等^[37]采用负压真空浓缩法,蒸发后冷凝液水质能达到了 GB18596-2001《畜禽养殖业污染物排放标准》。负压蒸发技术,理论上可实现对沼液的浓缩,但是因工艺和设备上的原因,影响了负压蒸发技术在沼液浓缩上的应用。

蒸发浓缩技术具有沼液营养物质有效分离,浓缩液可制备液体肥料,设备投入相对于生物处理法低等优势,但其推广应用还受到运行成本高的限制,降低蒸发能耗成为该技术下一步研究和突破的重点。

3.1.2 膜浓缩

膜分离技术由于兼有分离、浓缩功能,又有高效、节能、环保、过滤过程简单、易于控制等特征,因此,已广泛应用于各个领域,已成为当今分离科学中最重要的手段之一。国内外学者对此领域研究较多,将养殖场沼液通过粗级过滤后采用微滤、超滤、纳滤或反渗透膜进行浓缩,浓缩后清液可回收用于调浆或者能达到 GB18596-2001 标准进行排放;浓缩液可制备氨基酸水溶性肥料产品,也可用于无土栽培营养液。

表 1 对比了不同来源沼液在各种预处理及膜工艺组合下的处理效果^[38-45],透过液 COD 均能达到 GB18596-2001 标准,经碟式反渗透处理后大部分能达标,但其他膜分离技术去除氨氮效果较差,也是膜处理沼液的难点,如要保证达标排放,透过液出水需作进一步处理。

表1 预处理及膜工艺组合的处理效果

沼液来源	原沼液性质/(mg/L)	处理工艺	透过液性质/(mg/L)
鸡粪	COD:8790 氨氮:3005	袋滤+超滤+两级反渗透	COD:66 氨氮:530
	COD:7467 氨氮:3347	砂滤+芯滤+碟式反渗透	COD:59.1 氨氮:197
	COD:17600 氨氮:5190	卧式离心+管式微滤+碟式反渗透	COD:65.5 氨氮:187
猪粪	COD:7394 氨氮:1679.7	三级过滤+微滤+超滤+纳滤	COD:≤120 氨氮:850
	COD:1397 氨氮:510	砂滤+Y型过滤+保安过滤+碟式反渗透	COD:51 氨氮:29
	COD:5890.3 氨氮:624.8	精密过滤器+碟式反渗透	COD:372.3 氨氮:55.3
牛粪	COD:650.5 氨氮:249.7	筛网过滤+遴选+多介质过滤+超滤	COD:344.1 氨氮:183.1
牛粪+秸秆	COD:1977 氨氮:1154	离心+微滤+正渗透	COD:344.1 氨氮:183.1

膜处理技术能对沼液中的营养物质进行很好的分离,是一种高效的处理技术,但该技术对氨氮去除效果差,设备投入大,且膜污染问题也不容忽视。将其与氨氮、SS去除效果好的预处理技术组合应用更能体现其优势。

3.2 以生物处理法为主的组合工艺

生物处理技术主要利用人工构筑物,采用一定能耗的强化措施,降解去除沼液中的有机物,同时脱氮除磷,使出水达到排放标准。常见的有A/O、SBBR、人工湿地等工艺。针对猪牛养殖场沼液有机物含量高、氮磷浓度高、C/N值低、可生化性差等特点,单一工艺很难将之处理达标,采用多种生物处理工艺进行组合,出水COD及氨氮能达到GB18596-2001排放标准。

表2为对近期多名研究者采用不同组合处理工艺处理不同来源沼液结果进行了比较^[46-51]。可知水解酸化能提高沼液的可生化性,而改良型两级A/O工艺中将厌氧池出水与集水池出水混合,使C/N值达到5,按一定比例进入第一、二级缺氧池,可提高出水水质。利用A/O、SBBR工艺在降低COD的同时可进行深度脱氮,缺氧池反硝化、好氧池硝化或采用好氧池SND(同步硝化反硝化)工艺用于脱氮,经常规生物处理后的沼液也可采用氧化塘、人工湿地等进行深度处理。

相对于自然生物处理技术,生化处理技术占地少,效率高,运行效果稳定,但基础构筑物投资较大,运行电耗高,维护管理困难,需专门技术人员管理。该类技术适用于土地资源有限,经济较发达,能够承担高设备投

入及高运行成本的地区。

郭会真等^[49]和刘昊等^[51]利用生物法处理前加入预处理工艺,则只需采用一级生物法就可将沼液中的污染物大部分去除。微电解预处理工艺可提高沼液的可生化性,化学絮凝-磷酸铵镁结晶则去除氮磷,提高C/N值,降低沼液后续生物处理的难度,并且还可减少生物处理构筑物的投入。

因此研究开发高效、低能耗的生物处理技术才能使其得到更广泛的推广应用。

4 结论

国内养殖场厌氧消化液大部分缺乏足够的土地消纳能力,如不能充分合理的处置,高含量的有机物、氮、磷以及病源性微生物进入环境,将会造成二次污染,从而成为制约养殖场沼气工程正常运行和发展的一个重要因素。

在沼液后处置方法中,可根据实际情况选用不同的处理工艺。

(1)采用不同的预处理工艺,可使沼液的有机污染负荷、SS、TP、氨氮等得到部分去除,提高可生化性,降低后续处理难度。

(2)化学法和膜处理工艺可对沼液进行资源化利用,处理后的沉淀物和浓缩液可制备缓释肥料和液体肥料,相对工艺简单。但化学沉淀法需根据沼液性质确定不同的工艺条件,而膜处理工艺设备投入相对较大,且存在膜受污染导致寿命短缺及维护费用高等问题,只有突破技术瓶颈才有可能推广应用。

表 2 生物处理法为主的组合工艺处理效果

沼液来源	原沼液性质/(mg/L)	处理工艺	出水水质/污染物去除率
猪粪	COD:1200 ~ 1489 氨氮:510 ~ 629 TP:19 ~ 27	A/O - SBBR - 氧化塘 - 人工湿地处理	COD:211 mg/L(85.93%) 氨氮:34 mg/L(94.78%) TP:3.4 mg/L(88.67%)
	COD:864.6 ± 213.1 氨氮:499.4 ± 52.2 TN:505.3 ± 50.5 TP:126.4 ± 9.0	A/O 生物膜 - 活性污泥	COD:85% 氨氮:98.9% TN:98%
	COD:1878.61 ± 116.72 氨氮:512.44 ± 41.97 TN:517.29 ± 43.71	水解酸化 + UASB + 多级 A/O 工艺	COD:97.71 ± 10.74 mg/L 氨氮:3.51 ± 1.41 mg/L TN:44.55 ± 10.8 mg/L
	COD:1272 ~ 3353 氨氮:656 ~ 1489 TN:631 ~ 1504 TP:13.8 ~ 70.5	化学絮凝 - 磷酸铵镁结晶 - MBR	COD:138 mg/L 氨氮:3.6 mg/L TN:81.5 ~ 124.7 mg/L TP:13.8 ~ 70.5 mg/L
牛粪	COD:1482 TN:210 TP:10.81	改良型两级 A/O 工艺	COD:89% TN:87.5% TP:98.8%
	COD:4400 ~ 6660 氨氮:804.43 ~ 1675.95 TP:89.87 ~ 175.41	微电解 - 电极 - SBBR	COD:92.2% 氨氮:93.5% TP:93.2%

(3) 蒸发浓缩和电化学法存在运行成本高的问题。蒸发和电催化法能耗较高;微电解法处理前需调节沼液 pH 值,耗酸较多;臭氧法臭氧费用较高。只有降低能耗、提高臭氧利用率、降低运行成本才能得到推广应用。MFC 作为产生电能的新方法,为联合处理沼液提供了新的思路,但还需进一步完善。

(4) 生物处理组合工艺能将沼液中的污染物质大部分去除,运行成本较低,但该法中大多数技术比较复杂,需要专业人员的管理,且设备投资较大。

(5) 选用一定的预处理工艺,结合生物处理法,可将沼液中的大部分污染物质去除,并能解决多级生物处理造成构筑物投资过大的问题。

因此,在以后的研究、推广中,应综合考虑选用较低投入,低运行成本、容易操作并可资源化利用的技术。

参考文献:

- [1] 陈焕春.关于当前我国养殖业转型升级的思考与建议中国[J].畜牧兽医文摘,2015,31(9):1.
- [2] 麻福芳,徐光耀,戴天放,等.畜禽养殖业废弃物污染防治研究[J].农业展望,2017(4):63-68.
- [3] 王晓航,陈颖,孙大昭.哈尔滨市畜禽养殖废弃物治理的调查及对策研究[J].国土与自然资源研究,2015(4):62-66.
- [4] “养殖业十三五规划战略研究”项目组.养殖业“十三五”发展趋势与政策建议[J].中国工程科学,2016,18(1):17-21.
- [5] 王均良,贾青.现代畜牧业发展需要解决的关键问题[J].畜牧兽医杂志,2017,36(3):59-62.
- [6] 葛昕,李布青,丁叶强,等.沼液利用现状和潜在风险分析[J].安徽农业科学,2012,40(30):14897-4898.
- [7] 沈其林,单胜道,周健驹,等.猪粪发酵沼液成分测定与分析[J].中国沼气,2014,32(3):83-86.
- [8] 帕孜尼沙·阿不拉,艾力西尔·加帕系,阿布都沙塔尔·阿布都外力.浅谈植物生长所需的必需营养元素[J].商品与质量,2003(5):316.
- [9] 孙敏捷.畜禽养殖废弃物沼液土地处理模式探讨[J].猪业观察,2015(3):87-90.
- [10] 王远远,刘荣厚.沼液综合利用研究进展[J].安徽农业科学,2007,35(4):1089-1091.
- [11] 郝鲜俊,洪坚平,高文俊.沼液沼渣对温室迷你黄瓜品质的影响[J].中国土壤与肥料,2007(5):40-43.
- [12] 杨静,徐秀银.施用沼液对生菜产量及土壤质量的影响[J].中国沼气,2013,31(6):51-54.
- [13] 黄伟民.沼液在茶叶上的施用效果研究[J].茶叶科学技术,2005(3):13-14.
- [14] BOLA N,ADRIANO D,MAHIMAIRAJA S.Distribu-

- tion and bioavailability of trace elements in livestock and poultry manure by-products[J].Critical Reviews in Environmental Science and Technology,2004,34(3):291-338.
- [15] 朱泉雯.重金属在猪饲料-粪污-沼液中的变化特征[J].水土保持研究,2014,21(6):284-289.
- [16] 杨涛,李建国,陈院华,等.畜禽养殖场沼液重金属含量现状及安全性分析[J].江西农业学报,2017,29(2):63-66.
- [17] NICHOLSON F A, CHAMBERS B J, WILLIAMS J R, et al. Heavy metal contents of livestock feeds and animal manures in England and Wales[J]. Bioresource Technology, 1999, 70(1):23-31.
- [18] MARELEY E, GULSON B L, PFEIFER H R. Metal concentrations in soils around the copper smelter and surrounding industrial complex of Port Kembla, NSW, Australis[J]. Science of the Total Environment, 2004, 325(1):113-127.
- [19] 唐李琪,朱洪光,陈杰,等.混凝工艺去除鸡粪厌氧消化液有机物及条件优化研究[J].中国沼气,2010,28(6):7-12.
- [20] 冯亮,赵明,周礼杰,等.化学絮凝预处理对 A/O—MBR 处理养猪沼液的影响[J].工业水处理,2013,33(2):16-19.
- [21] LEE S H, IAMCHATURAPATR J, POLPRASERT C, et al. Application of chemical precipitation for pig-gery wastewater treatment [J]. Water Science and Technology, 2004, 49(5/6):381-388.
- [22] 石春芳,冷小云,杜志强,等.利用生物絮凝剂处理沼液的研究[J].畜牧科技,2015(9):74-76.
- [23] 白晓凤,李子富,闫园园,等.吹脱与鸟粪石沉淀组合工艺处理中温厌氧发酵沼液研究[J].农业机械学报,2015,46(12):218-225.
- [24] 陶智伟,冯亮,肖惠群,等.磷酸铵镁法回收养猪沼液中营养元素的研究[J].水处理技术,2016,42(1):96-100.
- [25] 张正红,向天勇,单胜道.鸟粪石结晶-絮凝同步处理沼液实验研究[J].中国沼气,2014,32(4):29-33.
- [26] 江晖,李丹,廖天宇,等.超声波联合光催化对沼液脱氮处理的效果江苏[J].农业科学,2016,44(5):509-513.
- [27] 曾鑫,呼世斌,屈广周,等.臭氧氧化处理养猪场厌氧沼液[J].环境工程学报,2015,9(7):3332-3338.
- [28] CORTEZ S, TEIXEIRA P, OLIVEIRA R, et al. Mature landfill leachate treatment by denitrification and ozonation[J]. Process Biochemistry, 2011, 46(1):148-153.
- [29] INCHAUSTE-DAZA A, SAROJ D P, LOPEZ-VAZQUEZ C M, et al. Ozonation for sludge reduction and improved biological nutrient removal [J]. Journal of Residuals Science & Technology, 2011, 8(2):73-80.
- [30] 王静,潘异哲,裴兰顺,等.PACT 工艺协同电催化技术在养殖场沼液处理工程中的应用研究[J].浙江畜牧兽医,2017(3):29-30.
- [31] 马焕春,陈玉成,陈瑶,等.电化学法预处理沼液的研究[J].中国沼气,2014,32(2):26-29.
- [32] 刘庆玉,魏欢欢,包震宇,等.铁碳微电解法对沼液处理效果试验研究[J].可再生能源,2015,33(11):1717-1723.
- [33] 何佼,刘国,汤景鹏.铁碳微电解法预处理猪场沼液中氨氮的研究[J].工业安全与环保,2015,41(3):27-30.
- [34] 曹琳,雍晓雨,周俊.以沼液为原料的微生物燃料电池产电降解特性[J].化工学报,2014,65(5):1900-1905.
- [35] 唐弓斌,陈一帆,卢誉远,等.浓缩沼液的三效节能蒸发工艺研究[J].中国沼气,2017,35(4):61-65.
- [36] 焦有宙,关山月,李鹏飞,等.沼液负压蒸发浓缩装置的设计与试验[J].农业工程学报,2015,31(24):72-76.
- [37] 邓蓉.畜禽养殖场沼液的负压浓缩与纳滤膜浓缩研究[D].重庆:西南大学,2014.
- [38] 陈祥,潘骏,吴金海,等.规模化养鸡场沼气工程沼液膜分离处理效果对比[J].农业工程,2017,7(3):65-69.
- [39] 梁康强,阎中,魏泉源,等.沼气工程沼液高值的利用研究[J].中国农学通报,2012,28(32):198-203.

- [40] 王立江.沼液碟管式反渗透膜(DTRO)浓缩处理工艺研究[D].杭州:浙江工商大学,2015. 103.
- [41] 魏欢欢.基于反渗透法浓缩分离沼液试验研究[D].沈阳:沈阳农业大学,2016.
- [42] 杜龙龙,张智焯,王蒙,等.沼液一体化综合处理与循环利用工艺[J].农业工程学报,2016,32(s2):207-212.
- [43] 周宇远,罗杨春,阮慧敏,等.利用碟式反渗透系统处理养殖场沼液的研究[J].农业与技术,2016,36(4):132-134.
- [44] 陆佳,刘伟,王欣.超滤膜浓缩处理沼液实验研究[J].应用能源技术,2016(8):49-53.
- [45] 鹿晓菲,马放,王海东,等.正渗透技术浓缩沼液特性及效果研究[J].中国沼气,2016,34(1):62-67.
- [46] 万金保,付煜,邓觅,等.A/O-SBBR-氧化塘-人工湿地处理猪场沼液[J].工业水处理,2017,7(8):101-103.
- [47] 潘松青,徐颖,吴杰,等.A/O生物膜-活性污泥复合工艺处理养猪场沼液研究[J].中国沼气,2016,34(4):19-24.
- [48] 吴浩楠,张智,廖建华,等.多级A/O工艺短程SND处理养猪沼液的工程调试[J].中国给水排水,2017,33(13):35-39.
- [49] 余薇薇,张智,毕胜兰,等.改良型两级A/O工艺处理畜禽养殖场的沼液研究[J].中国给水排水,2011,27(1):8-11.
- [50] 郭会真,陶智伟,冯亮,等.化学絮凝-磷酸铵镁结晶-MBR组合工艺处理养猪沼液研究[J].水处理技术,2017,43(1):86-90.
- [51] 刘昊,马焕春,杨志敏,等.微电解-电极SBBR组合工艺处理沼液[J].环境工程学报,2016,10(5):2297-2301.

A Review of Anaerobic Digested Effluent Further Treatment on Livestock Farm

GUAN Xiuqiong, LIU Linpei, LIU Chun

(Institute of Paper Science and Technology, Sichuan University of Science & Engineering, Zigong 643000, China)

Abstract: Anaerobic digested effluent of livestock farm can not be consumed on site in our country, which is the main restriction factor for development biogas slurry project. There are many researches in the world. In order to reduce the subsequent treatment load, a variety of pretreatment modes can be used to remove insoluble COD and SS in the biogas slurry. The chemical technique, catalytic oxidation and electrochemical methods can also remove parts of TN and TP to reduce subsequent processing load, in which the chemical precipitates can produce the slow release fertilizer. And in the post-processing method, there are enrichment and membrane separation technologies for resource utilization, and there is also a combination process of biological treatment based on A/O, SBBR, artificial wetland and so on for the purpose of reusing or discharging. The combination of low energy consumption, low input, high efficiency and resource utilization with pretreatment technology is more conducive to the popularization and application of livestock farm biogas slurry treatment technology.

Key words: biogas slurry; further treatment; livestock farm