

陈志龙,陈广银,李敬宜.沼液在我国农业生产中的应用研究进展[J].江苏农业科学,2019,47(8):1-6.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.08.001

沼液在我国农业生产中的应用研究进展

陈志龙¹,陈广银^{2,3},李敬宜^{2,3}

(1.江苏省耕地质量与农业环境保护站,江苏南京 210036; 2.安徽师范大学环境科学与工程学院,安徽芜湖 241002;

3.安徽省水土污染治理与修复工程实验室,安徽芜湖 241002)

摘要:随着我国沼气产业的快速发展,在沼气产量快速增加的同时其主要副产物沼液的产量随之增加,并已成为影响沼气产业健康发展的重要掣肘。因此,寻找经济有效的沼液综合利用方式对解决沼液二次污染问题具有重要意义。沼液中含有一定量的氮磷钾等营养物质以及腐殖质、氨基酸和少量植物生长激素等,故沼液农用可促进农作物生长、提高农产品产量和品质。本研究将近年来国内沼液农用方面的文献进行整理归类,梳理沼液的概念与来源,分析沼液的物质组成及影响因素,重点介绍沼液在我国农业生产中的应用现状,包括沼液浸种、沼液还田、制作有机肥、用于水培以及沼液还田对农田土壤的影响等。无论是将沼液用于浸种还是还田,均需稀释一定比例后使用,且不同农作物不同地区的稀释比例不同。此外,提出我国沼液农用存在的一些问题,包括沼液质量标准 and 无害化标准缺失、沼液还田量缺乏计算依据、沼液还田的政策配套不够完善等。今后将在沼液无害化还田规范制定、沼液精准还田以及沼液还田的长效运行机制等方面下大力气。

关键词:沼液;发酵;还田;浸种;农作物;土壤;农产品

中图分类号: S216.4;S181 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2019)08-0001-06

沼气发酵是厌氧微生物在厌氧条件下将发酵底物中的有机物转化为以甲烷和二氧化碳为主要成分的沼气产品,同时生成液体副产品(沼液)和固体残渣(沼渣)的生物化学过程。由于该过程可以产生数量可观的沼气产品,故该过程也被称为沼气发酵,相应的工程称为沼气工程。至 2020 年,全国将建成 197 处规模化生物天然气工程,10 122 处规模化大型沼气工程,128 976 处中小型沼气工程,4 304 万户户用沼气,沼气总产量达 207 亿 m³[1]。

在沼气产能和工程数量快速增加的同时,沼液和沼渣产量随之增加。据测算,建设 1 处日产 500 m³ 沼气的规模化沼气工程,每年可生产 1 000 t 沼肥。大量沼液沼渣如未得到及时处理,将成为新的污染源。靳红梅等对江苏省 21 个大型沼气的调查发现,大多数沼气工程排出的沼液中污染物浓度偏高,化学需氧量(chemical oxygen demand,简称 COD)、铵态氮和总磷浓度分别达 15 000、500、100 mg/L 以上[2]。叶小梅等调查发现,大多数养殖场沼气工程以处理废水为主,且对后续沼液处理的关注度不够[3]。目前,缺少低成本沼液利用技术已成为限制沼气产业发展的重要因素之一。沼液农用是沼液资源化利用最主要的技术途径。2018 年,农业农村部重点推广的十大生态农业模式中,有 4 种模式涉及沼液农田利用。沼液农田利用已被大规模推广应用,相关的报道很多,但不同的研究结果间差别较大,部分结论甚至相对立。

为更系统地了解沼液农用对农作物生长的影响效果,在查阅国内大量文献基础上,对沼液的来源、物质组成和影响因素、沼液浸种和还田对作物(产量、品质)和农田土壤的影响等进行较系统的分析,指出当前沼液农田利用存在的问题,并提出相应的建议,希望对今后沼液农田利用有一定的指导作用。

1 沼液的概念及特性

1.1 沼液的概念

沼液的概念目前还没有统一定义。查阅国外文献发现,与沼液相关的单词包括 biogas slurry、digested slurry、fermentation slurry、anaerobic digested slurry 和 digestate 等。可以说,国外对发酵残余物的划分比国内更细致更具体。NY/T 2065—2011《沼渣、沼液施用技术规范》中对沼液的定义为畜禽粪便生产废弃物经沼气发酵后制取的液体,而这个定义仅适用于畜禽场沼气工程。韩敏等认为,沼液是指可生物降解的有机废弃物(如人畜粪便),在一定的含水量、温度、甲烷细菌及厌氧条件下,产生甲烷、二氧化碳等气体后的残留物,固体物质称为沼渣,液体物质称为沼液[4]。王惠霞等认为,沼液是发酵剩余物沉降后的上部液体[5]。可以看出,厌氧发酵后的残余物是判定是否为沼液的必要条件,但不是充分条件,具体还须结合厌氧发酵的原料、发酵工艺、发酵目的等多因素综合考虑。

1.2 沼液的成分及影响因素

1.2.1 沼液的成分 沼液的成分非常复杂,其元素组成包括 N、P、K 等常量元素和 Na、Ca、Mg、Fe、Zn、Mn 等微量元素,以及 As、Hg、Cd、Cr、Cu、Pb 等重金属[6-7]。沼液中氮的形态包括氨态氮、硝态氮、亚硝态氮和少量有机氮,磷以磷酸盐形式存在,还包括一些硫化物、氨基酸、腐殖酸等;沼液中还含有少量植物生长激素、维生素、抗生素、水解酶等生物活性物质[8]。沼液中氨基酸的种类复杂,孟庆国等测定了鸡粪和牛

收稿日期:2018-10-10

基金项目:国家重点研发计划(编号:2017YFD0801403-4)。

作者简介:陈志龙(1964—),男,江苏盐城人,高级农艺师,主要从事耕地质量管理方面的研究。E-mail: sino_alga@126.com。

通信作者:陈广银,副教授,主要从事畜禽养殖粪污治理及秸秆综合利用方面的研究。E-mail: xzcf2004@163.com。

粪混合物沼气工程沼液中游离氨基酸的类型,发现沼液中至少含有包括丙氨酸、苏氨酸、丝氨酸、缬氨酸、亮氨酸和半胱氨酸等在内的 19 种氨基酸^[9]。一般认为,沼液可以促进作物生长的重要原因是因为沼液中含有作物生长所需的植物生长素。Hou 等从猪粪沼液中鉴定出多种植物生长素,包括吡啶-3-甲酸、脱落酸、赤霉素、生物碱、8-羟基-3,4-二氢喹啉-2 酮和 3,4-二氢喹啉-2 酮等^[10]。

沼液中含有大量微生物,包括一些对植物病害有拮抗作用的微生物。陈超等对现代牧业集团各地区大型沼气工程沼液的分析发现,不同沼液样品中细菌的数量介于 $10^5 \sim 10^6$ CFU/mL 之间,且种群丰富,组成差别较大,芽孢杆菌为各地区沼液样品中的主要优势微生物^[11]。沼液中不仅含有大量对植物生长有益的微生物,还含有一些对人体健康有害的病原微生物。叶小梅等调查发现,沼气发酵可以显著降低物料中粪大肠菌群数量,平均可减少 92.9%,但厌氧消化后的沼液中仍有较多的粪大肠菌群,不能达到无害化要求,在调查的 21 家沼气工程中仅有 3 家沼液粪大肠菌群数达到国家及行业标准规定的限定值^[3]。

1.2.2 影响沼液成分的主要因素 影响沼液成分的因素有很多,如发酵原料、发酵工艺、发酵时间、发酵浓度以及发酵过程控制等,其中,发酵原料是影响沼液成分的最主要因素。于晓东研究了以牛粪、鸭粪和猪粪为原料发酵后沼液中氮磷钾等养分含量的变化,结果见表 1^[12]。张昌爱等对猪粪、牛粪、秸秆和人粪尿发酵后的沼液营养成分的分析结果见表 2^[13]。由表 1、表 2 可看出,不同发酵原料发酵所产沼液中营养成分含量差别很大,但同类型发酵原料不同研究人员获得的结果间差别也很大,如表 1 和表 2 中猪粪总氮(total nitrogen,简称 TN)含量相差近 3 倍,总磷(total phosphorus,简称 TP)含量相差 7 倍,总钾(total kalium,简称 TK)相差 2 倍,这种差别直接影响后续农用的效果,增加了制定沼液肥用标准的难度。

表 1 不同发酵原料沼液中养分含量汇总^[12]

发酵原料	养分含量							腐殖酸 (%)
	$\text{NH}_4^+ - \text{N}$ (%)	$\text{NO}_3^- - \text{N}$ (%)	可溶性 K (g/kg)	可溶性 P (g/kg)	TN (%)	TP (%)	TK (%)	
鸭粪	0.08	0.016	1.13	0.20	0.30	0.02	0.13	0.48
牛粪	0.04	0.019	1.61	0.60	0.22	0.07	0.22	1.64
猪粪	0.06	0.010	0.98	0.10	0.18	0.01	0.11	0.04

表 2 不同发酵原料沼液中氮磷钾含量汇总^[13]

项目	养分含量(mg/L)					
	TN	TP	TK	速效氮	速效磷	速效钾
牛粪	1 680	278	987	775	83	736
猪粪	809	712	488	329	37	96
人粪尿	1 517	258	644	340	21	281
玉米秸	655	236	786	174	92	574

沼液成分除受发酵原料类型的影响外,不同来源的同种发酵原料发酵后沼液的成分也不同。陈超等对现代牧业集团各地区大型沼气工程沼液的分析发现,尽管发酵原料均为奶牛场粪污,但各地区沼液样品的 pH 值范围为 6.1~8.7,总养分含量差异较大,含量最高可达 15.4%,含量最低的仅为 0.94%,出现这种现象可能与发酵浓度、发酵工艺、发酵温度等因素有关^[11]。刘荣厚等研究发现,与采用常规发酵相比,

采用高温驯化后的接种物用于高温发酵沼气工程的启动,可以提高沼液中磷素含量,对钾的含量影响不大,但氮素损失率提高^[14]。发酵时间长短是影响沼液成分的又一个重要因素,张丽萍等研究发现,随着发酵周期延长,沼液中 TN、TP、TK 和 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 含量均逐渐降低, $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量逐渐增加^[15]。可以看出,影响沼液成分的因素很多,以至于想要在全国找出 2 个沼液成分完全相同的沼气工程基本不可能,这对沼液农田利用是极为不利的。

2 沼液在农业生产中的应用

2.1 沼液浸种对农业生产的影响

厌氧微生物在分解发酵原料时会分泌出多种活性物质,其中部分活性物质具有催芽和刺激作物生长的作用,这些物质在浸种过程中能激活种子体内酶活动、刺激种子萌发、促进种子发芽和生长。此外,沼液中的钾离子、铵离子、磷酸根离子等在浸种过程中都能因渗透作用或生理特性不同程度地被种子吸收,而这些离子在幼苗生长过程中可增强酶活性,加速养分运转和新陈代谢过程。

原沼液中各种营养物质浓度较高,直接用于浸种不利于种子发芽,故沼液用于浸种时一般要稀释后使用。王彦杰等研究发现,喷施浓度为 50% 以上沼液均可显著增加谷子的株高、穗粒质量,浓度为 50%、75% 的沼液可显著增加谷子穗长、产量,喷施 100% 的沼液会造成谷子顶端叶片坏死^[16]。然而,杨柳等研究发现,使用不同浓度沼液浸种,均能有效提高番茄种子的发芽势、发芽率、根长、须根数、茎高及鲜质量,但使用浓度为 25% 的沼液浸种效果最好^[17]。吴玉红等研究发现,使用浓度为 5%~50% 的沼液浸种玉米的综合效果最佳^[18],而巴合旦·巴达力等研究认为,75% 沼液浸种玉米种子的发芽率最高^[19]。可以看出,沼液稀释后浸种对促进作物生长具有更好的效果,但具体稀释倍数须根据作物种类、沼液来源、沼液浓度等确定。

在进行沼液浸种时,除需考虑沼液的浓度外,还需考虑浸种的温度、浸种时间等外在因素。唐才禄等研究了沼液浓度在 50%~100%、温度在 22~28℃、浸种时间为 12~18 d 等 3 个因素下对生姜产量的影响,发现生姜沼液催芽的最佳技术组合为沼液浓度为 80%、催芽温度为 25℃、催芽时间为 15 d^[20]。郜天磊等发现,沼液与木醋液 500 倍稀释液的混合液浸种的综合效果优于沼液、木醋液单独浸泡的处理^[21]。沼液浸种已被大量应用于农业生产中,但须针对不同作物优化沼液浸泡技术参数,以获得最优的效果。

2.2 沼液还田对农作物生长的影响

沼液还田的方式有多种,包括直接灌溉、叶面喷施、制作配方肥、用于水培等,须根据当地实际情况及作物种类选择相应的使用方式。

2.2.1 沼液灌溉对农作物生长的影响 沼液灌溉已被广泛用于农业生产中,但沼液的适宜用量、直接还田还是稀释后还田、沼液替代化肥的合适比例等均可能影响沼液还田的效果。

2.2.1.1 沼液还田量 在农业生产中,沼液施用量并不是越大越好,而是在一定范围内起促进作用,沼液用量过大反而不利于作物生长。由表 3 可以看出,不但不同作物上沼液最佳施用量不同,同种作物上沼液的最佳施用量差别较大,魏章焕

等研究沼液在水稻上的最适施用量^[22]是毛晓月等研究结果^[23]的 2 倍多;邵文奇等研究沼液在小麦上的最适施用量^[24]是李友强等的研究结果^[25]的 10 倍。以上结果充分说

明在农业生产中,施用沼液时须综合考虑各地的实际情况、沼液类型、耕作方式等因素,科学合理地施用沼液,不能将别人的做法生搬硬套。

表 3 沼液在农作物上产中的最适施用量

作物种类	沼液来源	沼液施用量
水稻、小麦、大棚西瓜、草莓、柑橘 ^[22]	未说明	沼液单季最高施用量为水稻 150 t/hm ² 、小麦 110 t/hm ² 、大棚西瓜 200 t/hm ² 、草莓 80 t/hm ² 、柑橘 300 t/hm ² ,且以基肥为主、追肥为辅,并适当配施化肥
水稻 ^[23]	猪场沼液	当沼液施用量为 3 200~5 300 kg/hm ² 时,水稻产量和品质维持在相对较高的水平
小麦 ^[24]	猪场沼液	沼液用量为 600 t/hm ² 时,小麦产量提高 8.1%~8.9%
小麦 ^[25]	未说明	沼液用量以 60 000~75 000 kg/hm ² 之间对促进小麦增产效果较佳
玉米 ^[26]	猪场沼液	以沼液施用量 45 000 kg/hm ² ,并在拔节期、抽雄期和灌浆期各追施 1 次的效果最佳,产量较对照提高 19.8%。
甜高粱、青贮玉米和小白菜 ^[27]	牛场沼液	甜高粱、青贮玉米、小白菜的沼液年消纳量分别为 118、19、118 t/hm ²
油茶 ^[28]	猪场沼液	当沼液用量为 30 kg/株时最能有效促进油茶生长,提高油茶产量
杨树 ^[29]	猪场沼液	沼液用量低于 450 m ³ /hm ² 对杨树生长有较明显的促进作用

2.2.1.2 稀释比 高金辉等研究发现,施沼液原液的植株各生长性状均好于其他处理,但由于施肥量较大,导致其营养生长明显,结实性状表现不理想^[30];施用 25% 沼液稀释液的植株各结实性状优良且种内差异较大,具有较大的良种选择空间。王新新等研究发现,施用 40% 沼液稀释液可以获得最佳的油茶产量和单果质量^[31]。王洪涛等研究发现,在韭菜生长过程中以鸡粪沼液稀释 40 倍冲施 2 次可以获得最大的韭菜产量及品质^[32]。以上结果表明,沼液稀释后使用对提高作物产量和品质的效果更好,且不同作物上沼液的稀释倍数差别较大。

2.2.1.3 沼液替代化肥比 沼液中含有植物生长需要的氮磷钾等营养物质,故沼液可替代部分化肥,但替代比例并不是越高越好。李建伟等研究发现,充足的全沼液供肥,可获得比全化肥处理更明显的增产^[33]。孙国峰等研究发现,沼液全量替代化肥时小麦未减产^[34]。而鲁天文等研究认为,施用沼液可以显著提高制种玉米千粒质量和制种产量,但沼液不能单独做追肥,必须和化肥配合施用^[35]。王桂良等研究发现,在等氮量条件下,随着沼液替代化肥氮比例增加,水稻各生长指标及产量呈先增加后下降趋势,以沼液替代 70% 化肥氮效果最好^[36]。吴华山等研究发现,在春玉米中 50% 化肥 + 50% 沼液配施玉米产量和品质与纯化肥无明显差异^[37]。以上结果表明,在沼液还田时将沼液与化肥按一定比例混施可以获得更好的增产和提质效果,但混合比例因作物种类和耕作方式等不同,一般以 50% 化肥 + 50% 沼液配施可以获得较好的效果。

2.2.2 沼液叶面施用对农作物生长的影响 作物生长过程中按照施肥方式可分为基肥和追肥 2 种,施用追肥的方式包括根部追肥和叶面追肥 2 种。叶面喷施需肥量小、利用效率更高,故应用较广。苑媛等研究发现,沼液叶面喷施秋茶可提高茶叶中茶多酚、氨基酸、咖啡碱、水浸出物等含量,提高茶叶品质^[38]。李亚纯等研究废弃鲜烟叶发酵后沼液叶面喷施对烤烟生长的影响发现,沼液对烤烟主要田间病害无诱发或传播作用,对中上部叶片发育和干物质积累有促进作用,烤烟产量、上等烟比例和中上部烟叶外观质量均有所改善,以旺长期喷施效果最好^[39]。以上结果表明,将沼液叶面喷施对作物生产和提高产品品质是有促进作用的。考虑到不同来源沼液间营养物质浓度差别较大,在生产实际中往往将沼液稀释后用于叶面喷施。

2.2.3 沼液制作配方肥的肥效及应用 受沼液来源差异以

及沼液自身物质组成限制,沼液农用对促进作物生长、提高农产品品质的效果受到一定影响。为提高沼液农用效果,通过在沼液中添加一些化学肥料,使沼液中营养物质组成更加均衡、养分含量更高。谿泽春等研究沼液与硼肥混合施用对西瓜生长的影响发现,将沼液与硼肥配合喷施可以提高西瓜产量和品质^[40]。李然等以畜禽粪便沼液为载体,配制沼液配方肥施用于辣椒植株,当施用沼液配方肥浓度为 30% 时,辣椒叶片叶绿素含量最高,辣椒产量较常规无机肥提高了 8.70%^[41]。高刘等以畜禽场沼液为载体,将添加化学肥料配制的配方肥施用于香蕉植株,香蕉株高增加 7.38%,单株产量增加 12.91%^[42]。李胜利等研究发现,将沼液与硫酸钾、磷酸二氢钙混施可提高黄瓜产量和品质^[43]。

虽然大多数研究认为,将沼液还田可以促进作物生长,提高作物产量和农产品品质,但沼液不是万能的。受沼液来源及农作物种类、土壤类型等影响,施用沼液的效果也参差不齐,根据沼液的物质组成以及作物的肥料需求,人为在沼液中补充一定量的化学肥料,对提高沼液还田效果有很好的促进作用,提高了化肥利用率,值得推广。

2.3 沼液作为水培营养液

水培因生长速度快,收获的农产品外观干净卫生,且产量高、占地少等特点,越来越受到人们的青睐。沼液中含有多种农作物生长需要的营养物质,研究者将沼液稀释后作为水培营养液的效果方面进行了一些研究。梁飞虹等研究表明,将沼液脱氨并适当稀释后可以代替化学营养液用于水培生菜,且沼液经水培处理后的水质优于农田灌溉用水标准^[44]。王文琳等研究发现,以沼液浓度为 0.24%~0.60% 的稀释液作为蕹菜水培营养液对提高蕹菜叶片净光合速率和产量效果最好;但当沼液浓度为 1.20% 时,蕹菜生长受到抑制;当以 12% 的沼液水培蕹菜时,蕹菜失去再生能力^[45]。可以看出,在将沼液作为水培营养液时,一定要注意沼液的使用浓度,过高的浓度往往不利于植株生长。

2.4 沼液还田对农田土壤的影响

沼液还田后除部分养分被作物利用外,大部分进入耕作土壤中。大量沼液还田后对农田土壤的影响如何。王旭等研究发现,在盐碱土施入沼液显著提高了土壤肥力,降低了土壤 pH 值、碱化度,但过量施入会增加土壤盐分,不利于作物生长^[46]。耿青云等研究发现,沼液施用量为 70 t/hm² 时降低土

壤盐分的效果最好^[47]。李松林等研究发现,在水田休闲期进行沼液淹灌,不但可以消解和净化沼液中的污染物,还能改善土壤养分状况^[48]。将沼液应用于樱桃^[49]、西瓜^[50]、玉米^[26]、辣椒^[51]和花椰菜^[52]等作物生产,均发现施用沼液可以提高土壤有机质、碱解氮、有效磷、速效钾等含量。范韵等发现,将沼液应用于青菜生产可提高表层土壤总 P 含量,对深层土壤总 P 含量影响不大^[53]。陈瑶等研究发现,施用沼液后土壤 pH 值增加,长期施用能有效防治土壤酸化;沼液施用后土壤 TN、TP 和有机质含量均增加,但随着浇灌时间增加,土壤 TN 和有机质含量呈下降趋势,土壤 TP 缓慢增加,长期浇灌导致土壤营养不均衡^[54]。因此,对于长期施用沼液的农田,须根据当地土壤理化性质、作物营养需求以及沼液养分状况,适当补充相应的化学肥料,以满足作物生长需求。

施用沼液除改变土壤营养物质组成外,还可改变土壤中重金属形态和含量。刘术新等研究发现,沼液连续浇灌能改变茶园土壤中 Pb 的形态,土壤中 Pb 的离子交换态、铁锰氧化物结合态、碳酸盐结合态向有机物结合态和残渣态转化;与对照相比,施用沼液显著降低了 Pb 的生物活性和生物有效性,使生物活性降低 21.26% ~ 22.83%^[55]。陈瑶等将沼液应用于旱作和水田土壤时发现,沼液施用后土壤重金属 Cu、Zn、Pb、Cd 含量变化不大,均未超过国家土壤环境二级标准,但 Pb、Cd 含量随沼液浇灌时间的增加呈上升趋势^[54]。沼液的大量施用改变了土壤的营养结构、酸碱环境等,对土壤微生物也产生相应的影响。章杰等研究发现,施用沼液后土壤细菌多样性有不同程度的提高,但提高幅度受沼液来源和沼液施用季节影响,影响大小顺序为猪粪沼液大于牛粪沼液,春季大于秋季^[56]。

土壤微生物结构的改变对提高肥料利用率和根系活性有重要作用。施用沼液不但提高了土壤营养水平,还改变了土壤中微生物结构、降低了重金属活性。

3 存在的问题与展望

3.1 存在的问题

3.1.1 沼液的标准缺失 沼液还田已被广泛应用,但是否所有沼气工程的沼液都适合还田,即沼液必须达到什么样的标准时方可还田,目前还没有统一标准。NY/T 2065—2011《沼渣、沼液施用技术规范》规定了沼气池制取沼肥的工艺条件、理化性状、主要污染物允许含量、综合利用技术与方法,该规范仅适用于以畜禽粪便为主要发酵原料的户用沼气发酵装置所产生的沼肥用于粮油、果树、蔬菜和食用菌的施用。经过近 20 年的快速发展,我国的沼气工程规模从传统的户用沼气为主转变为以大型和特大型沼气工程为主,沼气发酵原料也从以畜禽粪污和人粪尿为主转变为包括畜禽粪污、农业秸秆、食品加工废物、工业污水、城市污泥等多种发酵原料,沼液成分发生了很大变化。对种植业来说,沼液还田目的是利用沼液中的氮磷养分,如果氮磷养分含量过低势必增加单位面积沼液施用量,增加后续沼液使用成本;如果沼液中重金属、抗生素等含量过高,势必增加土壤污染风险,进而影响农产品质量安全。沼液还田已被农业农村部列为沼液综合利用的主要方式,制定官方的沼液质量标准尤为迫切。

3.1.2 沼液还田前的无害化标准亟需完善 沼液中不仅含

有氮磷钾等养分,还可能含有病原菌、杂草种子、重金属和抗生素等,这些物质进入土壤将对农产品质量安全及农田土壤质量造成潜在风险。因此,在沼液还田前一定要做到沼液无害化处理。

由于大中型沼气工程沼液产量大、连续产生、发酵周期短等特点,产生的沼液中仍含有一定量的病原菌、重金属、抗生素等,故沼气工程产生的沼液不能立刻还田,须贮存一段时间实现无害化后方可还田。欧洲国家一般要求沼液至少贮存 6 个月后方可还田,而我国尚无官方的要求,一般至少贮存 2 个月以上,也有少数贮存 1 个月左右。由于沼气发酵原料、温度和发酵周期不同,造成沼气发酵过程的无害化效果差别较大,沼液的贮存时间要求自然不同。但沼液的贮存时间并非越长越好,沼液贮存过程中会造成氮素的损失,影响沼液肥料价值。因此,制定统一的沼液无害化质量标准显得尤为迫切。

3.1.3 沼液还田量的测算缺乏统一标准 对种植业者来说,沼液还田是利用沼液中的氮磷养分,故沼液施用量以满足农作物生长需要为标准;而从沼液生产者来说,沼液还田是利用土地处理沼液,故单位面积土地施用沼液越多越好,这样可减少农田配套面积。目前,对沼液还田量测算的出发点是以不影响农作物生长为前提,即在不抑制农作物生长下的单位面积农田沼液最大还田量,这种以农作物为核心的沼液还田理论存在一定的片面性。我国农业生产中氮肥利用率仅为 30% 左右,磷肥利用率 20% 左右,也就是大部分的氮磷养分并未被作物利用,沼液中的氮磷养分大多为水溶态,大量沼液还田势必造成大量沼液中的氮磷养分随雨水进入地表水或下渗进入地下水系统中,给环境造成潜在风险。

此外,不同来源的沼液中营养物质含量差别较大,故不同来源的沼液在同一种农作物上的还田量不同。沼液还田量还受农作物种类、耕作方式、土壤特性等影响。因此,沼液还田量在不同作物上的结果相差很大,这给沼液农田利用推广增加了难度。

3.1.4 沼液还田的政策配套不完善 在我国产生沼液的主体一般没有或少有土地用于消纳沼液,而种植业者一般只负责农作物种植,自身并无沼气工程,这就出现了沼液生产与沼液消纳之间脱节。一方面,大量使用化肥造成土壤板结、地力下降、农产品质量下降等问题;另一方面,沼液中虽含有一定量的氮磷钾等养分,但沼液成分不稳定,沼液还田需要消耗大量人力物力,如何将种植与沼气生产有机结合,建立沼液农田利用的长效运行机制直接影响沼气工程的长效运行。

3.2 展望

3.2.1 沼液质量标准与还田技术规范建设 沼液还田能否顺利推广的前提是沼液中污染物及有毒有害物质浓度在可接受的范围内,沼液连续还田不会造成土壤污染及农产品质量下降。沼液贮存过程中不可避免地存在氮素养分损失、病原菌灭活、重金属形态转化和抗生素降解等过程,规范沼液贮存方式和相应设施对提高沼液质量、降低安全风险非常重要。沼液从产生、贮存到农田利用之间还存在沼液的运输或输送,建立沼液运输或输送技术规范很有必要。因此,须尽快建立一套包括沼液中污染物最大允许浓度和最低养分浓度、沼液运输和输送设备标准、沼液贮存规范以及沼液无害化还田技术规范等技术规范体系。

2010 年,由原农业部提出并委托原农业部环境保护科研监测所起草了 GB/T 25246—2010《中华人民共和国国家标准:畜禽粪便还田技术规范》,该规范规定了畜禽粪便用于还田时的质量要求及施肥方式。在该技术规范中,要求畜禽养殖场沼液用于叶面肥时沼液质量应符合 GB/T 17419《含氨基酸叶面肥料》和 GB/T 17420《微量元素叶面肥料》的技术要求,这样的要求是否有点牵强,毕竟沼液不能算真正意义上的叶面肥或氨基酸肥。为解决沼液还田无国家标准的问题,由重庆市农业技术推广总站牵头,中国标准化研究院、原农业部生态农业与资源保护总站、西北农林科技大学、西南大学、重庆市农业生态与资源保护站、山东民和生物科技股份有限公司和山东福祖生物科技有限公司等单位参加,正在起草《农用沼液无害化还田技术规范》,该规范的实施将成为今后很长一段时间内我国沼液农田利用的技术指导标准,对指导沼液农田利用有重要意义。

3.2.2 沼液还田进入精准施肥模式 随着我国农村老龄化加剧以及农业机械化快速推进,结合农村土地流转,未来我国农业生产方式将从传统的单个家庭小面积精耕细作向以农业企业和种植大户为主体的规模化种植发展,这给沼液还田带来了便利。但目前我国的沼液还田仍采取粗放的还田方式,沼液还田量仍来自生产经验,未考虑当地土壤养分状况、作物需肥结构以及肥料利用率等因素,存在沼液的过量施用或施用不足等问题,降低了沼液还田效果。在欧美国家,沼液还田量的确定须综合考虑沼液中养分含量、作物当季养分需求量、作物对养分利用率、土壤可提供的养分等因素,最后计算出沼液的施用量。这种方式的优点是实现了精准施肥,氮磷养分的利用率最高,缺点是前期须对沼液和土壤特性进行测定,且须知道当地不同农作物的需肥量、肥料利用率等基础数据。可以说,沼液的精准还田是沼液还田的发展趋势,且该方法不受地域、作物种类、沼液来源、耕作方式等因素影响。

3.2.3 沼液还田长效运行机制的构建 由于沼液生产者与沼液消纳者(种植业主)一般是不同的主体,且沼液消纳者对沼液的需求有一定的季节性,二者在地理位置上一般有一定的距离。因此,如何实现沼液消纳者愿意接受沼液、沼液生产者产生的沼液能及时运送到沼液消纳者手中且能及时施入农田中,这就需要在沼液生产者与消纳者间建立一个纽带,这个纽带就是第三方运行机构。第三方负责沼液的收集、贮存、运输以及将沼液施用于农田,沼液生产者只需负责沼气工程的正常运行以及确保产生沼液理化性质相对稳定,沼液消纳者只须将需肥信息告知第三方即可。这样的三角关系能够长期运行的关键是经济利益,第三方能赚到钱、沼液消纳者能看到沼液施用带来的化肥减量、农产品质量提高的经济效益。

根据沼液产生、贮存运输和还田特点,并综合考虑其中的经济要素,笔者构思了沼液长效运行机制的关系(图 1)。图 1 将沼液生产者、沼液消纳者、第三方及政府这四者的关系进行了梳理,明确了各方的职责,并通过设立环保基金的方式部分解决第三方运行经费的问题。须特别提出的是,由于种植业种类较多,且种植不同作物的经济效益差别很大,故须对沼液消纳者按照农作物种类进行分类,如经济效益较好的水果、花卉等归为Ⅰ类,经济效益一般的蔬菜归为第Ⅱ类,水稻小麦等大田作物归为第Ⅲ类。针对不同类的农作物采取不同的收

费方式,如Ⅰ类采取市场方式收取沼液使用费,Ⅱ类适当收取少量费用,Ⅲ类免费使用,第三方为Ⅱ类和Ⅲ类用户提供沼液还田服务不足的费用由环保基金支付,环保基金负责对第三方进行监督管理。政府负责对沼液生产者进行管理,协调沼液消纳者接受沼液,为环保基金提供一定的资金支持,并委托环保基金对第三方进行监督管理。由于沼液还田属于公益性环保项目,因此,该运行机制能否顺利运行的关键还在于政府的支持力度。

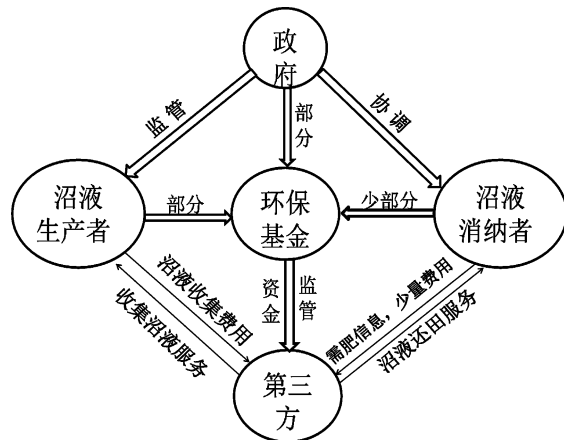


图1 沼液长效运行机制

4 总结

沼液还田既解决了沼液的处理问题,还可以提高农产品质量和品质,抑制作物病虫害,改善土壤环境,沼液浸种可以提高种子发芽率和抗病性等,沼液稀释后无论是浸种还是还田的效果均更佳。用于沼气发酵的原料、发酵工艺均会影响沼液的成分,进而影响沼液还田的效果。此外,施肥方式是影响沼液还田效果的又一重要因素,如直接施用还是稀释后施用,单独施用还是与其他肥料配施,喷灌还是漫灌等。沼液还田看似简单,但涉及的内容较多,包括沼液的质量安全鉴定、沼液贮存、运输、沼液农田利用方式、利用量等,且任意一个环节操作不当均可能影响沼液农用的效果。因此,建立沼液农田安全利用技术规范对于沼液科学还田非常必要。

参考文献:

- [1] 时事之各部委主要活动与事件[J]. 科技智囊, 2015(1): 88-92.
- [2] 靳红梅, 常志州, 叶小梅, 等. 江苏省大型沼气工程沼液理化特性分析[J]. 农业工程学报, 2011, 27(1): 291-296.
- [3] 叶小梅, 常志州, 钱玉婷, 等. 江苏省大中型沼气工程调查及沼液生物学特性研究[J]. 农业工程学报, 2012, 28(6): 222-227.
- [4] 韩敏, 刘克锋, 王顺利, 等. 沼液的概念、成分和再利用途径及风险[J]. 农学学报, 2014, 4(10): 54-57.
- [5] 王惠霞, 张省. 沼液中的化学物质及在农业生产上的应用[J]. 陕西农业科学, 2006(3): 89-91.
- [6] 李健, 郑时选. 沼肥中重金属含量初步研究[J]. 可再生能源, 2009, 27(1): 62-64.
- [7] Liu Y P, Zhang J F, Zou D X, et al. Security risk analysis on the nutrients and heavy metals of biogas slurry in agricultural application[J]. Agricultural Science & Technology, 2012, 13(5): 1067-1072.
- [8] 张全国. 沼气技术及其应用[M]. 3版. 北京: 化学工业出版社, 2013: 189-193.

- [9] 孟庆国,赵凤兰,张丰高,等. 气相色谱法测定沼液中的游离蛋白氨基酸[J]. 农业环境保护,2000,19(2):104-105.
- [10] Hou B C, Wei Q Y, Pang C L, et al. The study of the effect of biogas digestates on plant stress tolerance[C]//Proceeding of ORBIT 2009 International Conference China, 2009:301-306.
- [11] 陈超,徐凤花,高立洪,等. 规模化沼气工程沼液中微生物的细菌种群分析与功能初探[J]. 中国沼气,2012,30(6):7-11.
- [12] 于晓东. 发酵原料对沼渣、沼液成分的影响及沼液在番茄栽培中的作用[D]. 济南:山东农业大学,2016:11-17.
- [13] 张昌爱,王艳芹,袁长波,等. 不同原料沼气池沼渣沼液中养分含量的差异分析[J]. 现代农业科学,2009,16(1):44-46.
- [14] 刘荣厚,郝元元,叶子良,等. 沼气发酵工艺参数对沼气及沼液成分影响的实验研究[J]. 农业工程学报,2006,22(增刊1):85-88.
- [15] 张丽萍,刘红江,盛婧,等. 发酵周期、贮存时间和过滤对沼液养分和理化性状变化的影响[J]. 农业资源与环境学报,2018,35(1):32-39.
- [16] 王彦杰,毕少杰,洪秀杰,等. 不同浓度沼液浸种和喷施对谷子生长的影响[J]. 江苏农业科学,2015,43(10):119-121.
- [17] 杨柳,张俊鹏,高小松,等. 沼液浸种对番茄种子发芽的影响[J]. 农技服务,2017,34(15):15-107.
- [18] 吴玉红,郝兴顺,崔平,等. 沼液浸种对玉米种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 中国沼气,2017,35(5):70-74.
- [19] 巴合旦·巴达力,海拉提·扎克利亚,杨丽. 沼液浸种对玉米种子萌发的影响[J]. 新疆农业科技,2016(1):17-19.
- [20] 唐才禄,范承彦,张荣清,等. 生姜沼液浸种催芽效果研究[J]. 中国沼气,2014,32(2):48-51.
- [21] 郇天磊,邱凌,潘君廷,等. 沼液与木醋液浸种对小麦种子发芽及幼苗生长的影响[J]. 西北农业学报,2016,25(11):1608-1614.
- [22] 魏章焕,史努益,陆新苗. 不同作物上沼液肥施用量优化增效试验研究[J]. 上海农业科技,2016(2):97-100.
- [23] 毛晓月,伍钧,孟晓霞,等. 连续3年定位施用沼液对水稻产量和品质的影响[J]. 华北农学报,2016,31(3):218-224.
- [24] 邵文奇,文廷刚,唐金陵. 不同沼液施用量对小麦生长及产量的影响[J]. 福建农业学报,2018,33(2):144-149.
- [25] 李友强,盛康,彭思姣,等. 沼液施用量对小麦产量及土壤理化性质的影响[J]. 中国农学通报,2014,30(12):181-186.
- [26] 巩明明. 沼液对旱作区土壤养分和玉米产量品质影响试验研究[J]. 中国沼气,2017,35(5):62-64.
- [27] 李平,高立洪,蒋滔,等. 规模化养殖场沼液-农田系统消纳配套技术研究[J]. 西南农业学报,2014,27(1):220-224.
- [28] 游璐,樊妮娜,胡冬南. 不同沼液用量对油茶生长及果实品质的影响[J]. 经济林研究,2015,33(2):92-96.
- [29] 徐莉,周伟,俞元春,等. 沼液施用对杨树林地土壤性质及林分生长的影响[J]. 浙江农林大学学报,2015,32(2):204-207.
- [30] 高金辉,张玉宝,王维俭,等. 不同沼液配比浓度对贝达葡萄生长的影响[J]. 林业科技,2015,40(4):36-38.
- [31] 王新新,张春林,游璐,等. 不同浓度沼液对油茶生长和经济性状的影响[J]. 西南林业大学学报(自然科学版),2017,37(5):60-66.
- [32] 王洪涛,王英姿,姜法祥,等. 不同浓度鸡粪沼液对露地韭菜产量和品质的影响[J]. 山东农业科学,2017,49(8):86-88.
- [33] 李建伟,李可富,李小龙,等. 微喷带系统自动施沼液对西兰花产量和品质的影响[J]. 浙江农业科学,2016,57(11):1881-1884.
- [34] 孙国峰,周炜,何加骏,等. 猪粪沼液施用后土壤理化性状及小麦产量的变化[J]. 江苏农业学报,2012,28(5):1054-1060.
- [35] 鲁天文,王勤礼,许耀照,等. 沼液追肥对制种玉米产量与土壤化学性质的影响[J]. 中国沼气,2015,33(2):81-83.
- [36] 王桂良,寇祥明,张家宏,等. 沼液替代化肥氮对水稻生长发育及稻米品质的影响[J]. 生态学杂志,2018,37(9):2672-2679.
- [37] 吴华山,郭德杰,马艳,等. 猪粪沼液施用对土壤氨挥发及玉米产量和品质的影响[J]. 中国生态农业学报,2012,20(2):163-168.
- [38] 苑媛,张崇玉,丁钊. 沼液喷施对秋茶产量和品质的影响[J]. 贵州农业科学,2015,43(5):172-174,178.
- [39] 李亚纯,朱红根,段史江,等. 废弃鲜烟叶发酵沼液的叶面喷施方法对烤烟生长发育的影响[J]. 湖南农业科学,2014(22):24-26.
- [40] 豁泽春,张志芳,韩春叶,等. 不同沼液与硼肥配合喷施对西瓜产量及品质的影响[J]. 江苏农业科学,2018,46(11):100-103.
- [41] 李然,余雪标,高刘,等. 灌溉畜禽粪便沼液肥对辣椒光合作用及产量的影响[J]. 热带生物学报,2017,8(1):37-41.
- [42] 高刘,余雪标,李然,等. 沼液配方肥对香蕉生长、产量及其土壤质量的影响[J]. 江苏农业科学,2017,45(7):121-124.
- [43] 李胜利,夏亚真,刘金,等. 沼液与钾钙耦合对黄瓜叶绿素荧光参数、产量及品质的影响[J]. 河南农业科学,2013,42(11):106-110.
- [44] 梁飞虹,崔秋芳,涂特,等. 基于水培技术的沼液净化及生菜品质提升[J]. 农业环境科学学报,2018,37(4):788-795.
- [45] 王文琳,周长芳,周屿,等. 沼液对水培莼菜生长和光合特性的影响[J]. 江苏农业科学,2018,46(12):114-117.
- [46] 王旭,孙兆军,何俊,等. 滴灌施沼液改良甘肃盐碱地的效果研究[J]. 中国农村水利水电,2018(3):55-58.
- [47] 耿青云,张大伟. 施用沼液对盐渍化土壤盐分的影响[J]. 甘肃农业,2015(14):39-41.
- [48] 李松林,吕军,张峰,等. 高浓度沼液淹灌土水系统中氮、磷和有机物的动态变化[J]. 水土保持学报,2011(2):125-129.
- [49] 亓翠玲,浦碧雯,单洪涛,等. 沼渣沼液穴贮在樱桃栽培中的应用效果分析[J]. 山东农业科学,2016(11):100-103.
- [50] 石一珩,倪中应,李永丽,等. 沼液对西瓜产量及土壤肥效的影响[J]. 中国农业信息,2015(8):85-86.
- [51] 魏彬萌,韩霁昌,王欢元,等. 灌施沼液比例对石灰性土壤性质和辣椒生长的影响[J]. 中国土壤与肥料,2017(2):42-47.
- [52] 孙芹菊,凌玮,韩建刚,等. 沼液施肥对滨海盐碱地土壤性状的影响[J]. 南京林业大学学报(自然科学版),2018,42(5):091-98.
- [53] 范韵,来柳青,朱立群,等. 沼液施用对土壤与植物中磷分布的影响[J]. 土壤通报,2012,43(3):702-705.
- [54] 陈瑶,史秋萍,陈玉成. 沼液连续浇灌对旱作和水田土壤养分及重金属含量的影响[J]. 水土保持学报,2015,29(2):76-80,105.
- [55] Liu S X, Li S H, Ding F H. Effects of continuous Irrigation of biogas slurry on forms and biological availability of Pb in soil of a tea garden. [J]. Agricultural Science & Technology, 2017, 18(4): 615-618.
- [56] 章杰,文勇立,王永,等. 猪牛沼液施用对土壤细菌多样性的季节性影响[J]. 中国畜牧杂志,2012,48(24):37-42.