

沼液应用的研究进展

陆国弟, 杨扶德*, 陈红刚, 杜 弢

(甘肃中医药大学, 甘肃 兰州 730000)

摘 要: 沼液是人畜粪便、农作物秸秆等有机物在密闭条件下, 经多种发酵微生物作用形成的厌氧发酵液。含多种促进植物生长的养分、生长激素及丰富的氨基酸等。近几年, 随着国家对生态农业的大力倡导, 沼液的用途也被大力开发。从沼液施用对土壤理化性质的影响(改良土壤、提高土壤肥力和微生物活性)、肥料效应(粮油作物、蔬菜水果、药用植物)、其他功效(浸种、抗病虫害、饲料)以及对重金属影响做一综述, 以期对沼液资源的合理使用及推广应用提供借鉴。

关键词: 沼液; 肥料; 浸种; 抗病虫害; 土壤理化性质; 重金属

近年来, 随着国家对生态农业的大力倡导, 沼气工程得到迅猛发展, 根据规划, 到 2020 年全国将建成 130000 多处大中小型沼气工程, 4300 多万户农村沼气池, 沼气利用率将达到 440 亿 m^3 [1-2]。同时, 随着市场经济快速发展, 我国集约化、规模化畜禽养殖业也得到大力发展, 2010 年畜禽粪便年排放量已超过 20 亿 t [3], 在沼气工程和畜禽养殖业迅猛发展的同时, 沼液沼渣产量也随之快速增加, 目前肥料化是利用沼液、沼渣的主要途径, 但规模化畜禽养殖场、沼气工程排放的沼液沼渣已超过农田最大消纳量, 大量剩余沼液如不循环使用、合理应用, 而进行任意排放, 一方面会造成环境污染, 另一方面则引起资源的极大浪费, 同时也制约畜禽养殖业和沼气工程的发展。故大力开发沼液用途, 促进沼液的推广使用是目前亟待解决的问题。本文就广大学者对施用沼液影响土壤理化性质(改良土壤、提高土壤肥力和微生物活性)、肥料效应(粮油作物、蔬菜水果、药用植物)、其他功效(浸种、抗病虫害、饲料)以及对重金属影响等方面的研究进行综述, 以期对沼液资源合理使用及推广应用提供借鉴。

收稿日期: 2019-12-29; 录用日期: 2020-01-19

基金项目: 甘肃省科技厅青年项目(177R5RA166); 甘肃省教育厅创新能力提升项目(2019B-102); 甘肃省科技厅“三区人才”项目。

作者简介: 陆国弟(1985-), 女, 甘肃白银人, 讲师, 在读博士研究生, 主要从事中药品质评价及中药材规范化栽培研究。E-mail: luguodi@126.com。

通讯作者: 杨扶德, E-mail: gszyyfd@163.com。

1 施用沼肥对土壤理化性质的影响

1.1 改良土壤

Xu 等 [4] 以水稻-油菜轮作下的黄色土壤为试验地, 进行了 3 年的田间试验, 以了解猪粪沼液对土壤化学和细菌成分的影响, 结果发现施用沼液(165.1 和 182.1 t/hm^2) 可提高土壤的营养成分, 增加土壤 pH 值并促进土壤团粒结构的形成, 从而达到改良土壤的作用。Yu 等 [5] 研究施用沼液对中国西南地区土壤特性的影响, 结果发现长期进行沼液灌溉后, 土壤孔隙度和附着在土壤团粒结构上的微生物增加, 进而提高了土壤肥力。王旭等 [6] 选择沼液兑水稀释后, 以滴灌方式滴入土壤, 研究对甘肃盐碱地的效果, 结果施用沼液后土壤肥力显著提高, 同时改善了土壤的理化性质, 降低了土壤 pH, 在 0 ~ 20 cm 土层脱盐效果显著, 但 20 cm 土层以下出现盐分累积的现象。孙国峰等 [7] 研究发现与常规施肥处理相比, 沼液替代化肥耕层土壤理化性质无显著性差异, 但能有效抑制长期施用化肥所引起的土壤酸化现象。林少华等 [8] 在滨海盐碱地中研究发现, 沼液施用可改良其土壤性状, 降低土壤 pH 值、EC 值, 改善土壤的酸碱度, 进而提高或恢复土壤的肥力。

1.2 提高土壤养分

康凌云等 [9] 通过施用不同比例的沼渣沼液和化肥处理, 研究沼渣沼液替代化肥对设施番茄、甜椒生长和土壤养分积累的影响, 结果发现施用沼渣沼液处理的土壤氮、磷养分均有盈余, 表层土壤出现磷累积、氮素淋洗损失等现象, 因此今后在菜田

可持续生产中,限制性施用沼渣沼液是需注意的问题。王康等^[10]以临港产业园从未种植过的土壤为试验地,研究沼液喷洒灌溉对其的改良效果,结果发现,施用 300 t/hm² 的鸡粪沼液可有效增加深层土壤中碱解氮、有效磷、速效钾的含量。李小宇^[11]以水稻为试验材料,研究连续 3 年施用沼液对其生产及土壤环境质量的影响,结果发现适宜的沼液施用量能有效提高土壤氮含量,也有助于提高土壤速效钾和阳离子交换量,但土壤有效磷含量随沼液施用年限的增加而有所下降。杜妍宁^[12]研究发现,施用沼液能显著提高土壤氮、磷等养分的含量,且沼液配施生物炭对土壤中氮磷养分含量的提高优于单施沼液、生物炭。乔锋等^[13]研究表明,沼肥连年施用可提高玉米田土壤有机质、全氮、全钾和碱解氮的含量,说明沼肥在一定程度能改善玉米田的土壤化学性质。

1.3 提高微生物活性

Yu 等^[14]以氮和磷转化的相应酶活性(过氧化氢酶、脲酶、转化酶和磷酸酶活性)为指标,以灌溉期和灌溉量作为变量因子,研究三峡库区沼液灌溉对土壤性质和酶活性的影响。结果发现,当灌溉期和灌溉量为 4 d 500 mL 时,土壤中过氧化氢酶、转化酶和脲酶活性最高,磷酸酶活性显著增加;用沼液灌溉的土壤铵态氮和土壤硝酸盐与对照相比,分别增加了 47.8% 和 19.0%。表明沼液通过提高氮、磷含量和酶的活性,来提高土壤肥力。郝燕^[15]研究发现,施用沼液能显著提高葡萄园土壤酶活性和微生物量碳氮含量,其中,土壤微生物量碳和微生物量氮与对照(常规施用化学肥料)相比,分别显著提高 45.1% ~ 186.2%、14.0% ~ 95.3%,且提高幅度随沼液施用年限的增加而增大。张红等^[16]在菜田土壤中研究发现,施用沼液可明显增加土壤中多酚氧化酶、纤维素酶等的活性,增加了土壤中微生物量氮、碳含量。宋三多^[17]研究发现,施用沼肥显著提升了收获期稻麦轮作土壤中微生物碳、氮的含量,同时可显著增加土壤水解酶与过氧化氢酶的活性。

2 施用沼液对作物产量和品质的影响

2.1 施用沼肥对粮油作物产量和品质的影响

Li 等^[18]设置了 5 个氮素水平:对照(不添加氮),3 种浓度的沼液和常规化学肥料。从 2013 年 10 月至 2016 年 10 月,对华北平原小麦-玉米轮

作过程中沼液与灌溉水混合施用对硝酸盐淋失的影响进行了 3 年的田间试验,结果发现,使用中等浓度的沼液代替化学肥料是确保作物高产量,高氮利用率和减少硝酸盐淋失损失的合理方法。张永生^[19]通过大田试验,设置施沼肥与常规施肥 2 个处理发现,与常规施肥相比较,施用沼液处理的水稻有效穗数、穗实粒数、结实率、千粒重、公顷产量均不同程度的增加。陈璧瑕^[20]以正红号玉米为试验材料,利用猪粪发酵的沼液进行大田试验,研究发现施用沼液能明显提高玉米的产量,改善其品质,且施用量控制在 60 ~ 90 t/hm² 的范围内时,玉米产量最高、品质最佳,土壤肥力较高,环境质量也较好。吴华山等^[21]研究沼液施用对土壤氨挥发及玉米产量和品质的影响,结果发现浓度为 50% 沼液替代化肥,可获得与化肥处理相同的玉米产量与品质,此外发现,沼液施用量越大,氨挥发量越大。王文博等^[22]研究发现沼液作追肥,纯氮 396 kg/hm² 沼液处理的水稻产量大于化肥处理;且施用沼液的各处理均能增加土壤中氮和磷含量,且随着沼液施用量的增加而增大;而沼液作追肥,氮 396 kg/hm² 沼液处理的氮、磷利用率最高。郑健等^[23]利用 Meta 分析法定量分析沼液施用在不同条件下对作物产量的效应,结果发现在西北和华北施用沼液提高作物产量较其他地方明显,西南和华东地区稍低;其增产效应不受作物影响,小麦、玉米、番茄和水稻产量均有所提高。杨智青等^[24]设计了 12 个处理,研究施用沼液对大麦农艺性状及饲用品质的影响,结果发现沼液的施用可大幅度提升大麦生物量、籽实和植株蛋白质含量。侯福银等^[25]研究发现施用适量沼液比常规施肥更有利于籼稻的生长,其中,施用沼液量控制在 612 t/hm² 范围内,更有利于提高籼稻产量,改善其饲用品质。Wu 等^[26]通过设置不施肥、常规化肥和 10 个不同沼液灌溉量处理,来研究对油菜产量品质的影响,结果发现随沼液浓度的增加,油菜籽中蛋白质、铁、锰、铜和锌的含量呈增加趋势,油菜籽中油酸、钙和镁的含量呈先增加后降低趋势。其中,沼液施用在 78750 ~ 101250 kg/hm² 范围内,其产量和品质较好。

2.2 施用沼肥对蔬菜水果产量、品质的影响

Duan 等^[27]研究发现沼液灌溉与等量化肥和传统灌溉模式相比较,能提高黄瓜产量,改善其品质。Yang^[28]设置不同沼液浓度,并以清水灌溉为

对照处理,研究各处理对辣椒、西红柿和黄瓜可溶性糖及维生素 C 含量的影响,结果发现沼液处理的辣椒、西红柿和黄瓜可溶性糖及维生素 C 含量均显著高于清水对照处理。Yu 等^[29]研究发现浓缩沼液的施用可显著改变番茄的品质,包括增加土壤有机质,有效氮、磷和钾,总氮和磷,电导率以及水果中氨基酸、蛋白质、可溶性糖、 β -胡萝卜素、单宁和维生素 C,以及糖酸比,增加土壤中细菌、放线菌和真菌的可培养数量。蒋华等^[30]通过对番茄、萝卜、芹菜、豇豆施用不同浓度沼液发现,不同处理中以喷施 60% 浓度沼液或根施沼液原液的效果最好,能显著提高蔬菜的产量,其中以芹菜生产中喷施 40% 沼液浓度效果最佳。王树仁等^[31]研究发现,施用浓度为 50% 沼液对温室反季大叶芹菜增产效果最显著,产量比对照提高了 48.1%。研究表明,与施等量氮肥的化肥和发酵猪粪相比,施用猪沼液能够显著提高白菜的产量,增加白菜氨基酸、可溶性糖的含量,并能降低硝酸盐的含量,有效提高白菜产量和改善其品质^[32]。初长江等^[33]利用沼液曝气地下滴灌的方式对大棚韭菜进行小区试验,结果发现,施用沼液浓度为 80%,并对 80% 沼液进行曝气处理(曝气系数设为 1.0)时,韭菜产量最高,可达 230.50 kg/667 m²,比对照增长 28.53%;同时,韭菜中维生素 C、可溶性糖、可溶性蛋白质含量随沼液浓度增加呈迅速增加趋势,与对照相比,维生素 C 含量提高 77.78%,可溶性糖含量提高 91.20%,可溶性蛋白质含量提高 70.59%。徐培智等^[34]在白菜上施用沼液研究发现,与施同等氮相比,具一定程度的增产效果。在品质方面可显著增加游离氨基酸含量。翟玉莹等^[35]设置 25%、50%、75% 和原液 4 种浓度沼液处理研究对辣椒生长及品质的影响,结果发现与对照相比,随沼液浓度的增加,辣椒的株高、茎粗、干鲜质量、单果质量、叶绿素含量、维生素 C 含量、可溶性糖含量及有机酸含量等指标均有所提高。整个栽培过程中,不同时期施用不同配比的沼液可有效提高辣椒产量及品质。王晨冰^[36]以 4 年生艳光油桃作为研究对象,通过施用不同浓度沼液和一定浓度磷酸二氢钾喷施油桃叶片,来研究对其叶片光合特性、营养元素变化及果实品质的影响,结果发现喷施沼液可增加油桃叶片的营养,同时油桃果实的单果重、可溶性糖含量及糖酸比等也有所提高。王志典等^[37-38]利用大棚栽培条件,研

究沼液滴灌技术对红提葡萄和黄瓜生长、产量和品质的影响,结果发现施用沼液可有效提高黄瓜、红提葡萄产量,改善其品质。其中沼液浓度达到 80% 时,黄瓜产量最高,同时品质也达到最佳。刘小刚^[39]通过对红富士苹果树追施不同种类和不同量的沼液,同时进行叶面喷施,发现根施和叶面喷施均能提高红富士苹果的产量,而施肥量主要影响土壤转化酶活性,高水平施肥条件下,可提高土壤转化酶的活性。宋兵伟等^[40]研究发现叶面喷施沼液能有效增加哈密瓜的单瓜质量,并能提升其品质。其中,以喷施 75% 浓度沼液处理的效果最佳。陈建伟等^[41]叶面喷施沼液发现能提高苹果树的产量,增加果实中维生素 C、可溶性糖的含量,从而优化了果实品质。孙小波^[42]设置 5 个处理: N1 为每株施沼液 100 kg; N2 为每株施沼液 50 kg; N3、N4、N5 分别为沼液 50 kg 配施硫酸钾肥 0.25、0.55 和 1.0 kg,研究在苹果果实膨大期追 1 次肥,对提高产量和品质的效果,结果发现沼液配施硫酸钾肥效果优于单纯追施沼液,其中以追施沼液 50 kg 配施硫酸钾 0.5 kg 效果最好。高旭等^[43]采用田间小区随机区组试验发现,沼液替代和减量施肥处理可提高“绿宝石”薄皮甜瓜单果的质量,同时,沼液替代化肥处理可显著增加甜瓜可溶性糖含量、可溶性固形物含量和糖酸比,说明沼液替代化肥可提早甜瓜成熟和改善其品质。李宏业等^[44]以‘贵妃 2 号’和‘贵妃 3 号’蟠桃 2 个品种为试材,设置 4 个肥料配方处理,研究对果实生长量、果实大小、单果重等的影响,结果发现猪粪沼液和蚯蚓肥搭配施用,可显著提高蟠桃果实的产量和品质。

2.3 施用沼肥对药用植物产量、品质的影响

周倩倩^[45]设置 4 个沼液浓度,以常规施肥为对照,研究对枸杞生长、果实产量与品质的影响,结果发现施用沼液可使枸杞果实百粒重和产量显著提高,叶面积和叶绿素含量显著提高,促进了多糖、类胡萝卜素、黄酮和甜菜碱等有效成分的积累,从而改善了枸杞的品质,提高了其药效。Xu 等^[46]通过设置 3 个沼液浓度(1:4, 1:2, 1:1),1 个水处理作对照,研究对紫苏幼苗生长、光合作用及养分状况的影响,结果发现沼液灌溉紫苏幼苗,可显著增加紫苏苗株高、根长、茎和根的生物量、光合色素含量,同时净光合速率、蒸腾速率、气孔导度、细胞间二氧化碳浓度和水分利用效率明显提高,并改变了各个器官营养元素的浓度。李金

怀等^[47]研究了施用藻泥和沼液对水苔基质铁皮石斛容器苗和木屑松树皮基质铁皮石斛苗生长的影响,发现沼液比藻泥能更好地促进铁皮石斛幼苗的生长。其中,沼液浓度 10% ~ 20% 内,有利于水苔基质铁皮石斛容器苗的生长,10% ~ 30% 内有利于木屑松树皮基质铁皮石斛盘苗的生长。王双喜等^[48]采用随机区组试验法,通过不同用量的沼肥与普通肥料和空白进行对比,研究沼肥对栝楼品质与产量的影响,结果发现沼肥可有效提高瓜蒌皮、籽、根的品质。与同等浓度的化肥相比较,施用沼肥更有利于栝楼根、皮、籽品质的改善(如:瓜蒌色泽较好,皮内表面黄白、厚,瓣整齐无瓢,无霉变、虫蛀等现象,并微具焦糖样气味等),但对产量影响不明显。康钰雪等^[49]研究发现 27 g/m² 尿素 + 150 mL/m² 沼液配施有利于增加蒲公英的产量,提高 Vc、硝酸盐、可溶性蛋白含量,进而改善蒲公英的品质。周瑾伟^[50]以沼渣做基肥,沼液做叶肥,研究沼液灌根对当归增产及抗逆性的影响,结果施用沼渣、沼液可有效增加当归的产量,提高当归的抗逆性,同时沼液灌根可预防当归麻口病。安建华等^[51]通过用沼液和沼渣不同施用方式处理对党参进行灌根,发现施用沼渣、沼液对党参有很好的增产效果,且能使根系增粗、增长,提高其等级。刘国胜^[52-53]研究发现叶面喷施沼液能明显提高黄芪的产量,并对黄芪白粉病和根腐病有显著预防作用。

3 施用沼肥的其他功效

3.1 沼肥浸种

沼液中含丰富的氮、磷、钾及多种微量元素、生长激素。这些物质可通过渗透被种子吸收利用,加速种子休眠时期形成代谢,从而促使种子萌发。倪显祥^[54]采用清水浸种和沼液浸种 2 个处理,研究不同浸种处理对水稻生长和产量的影响,结果与清水浸种相比,沼液浸种能明显提高水稻种子发芽率,苗壮根粗,病虫害少,且栽培后返青快。阿不力孜等^[55]研究发现,采用 50% 浓度沼液浸种和高浓度的沼液喷施,可显著增加棉花的产量。雍山玉等^[56]通过采用不同浓度的沼液对柴胡种子进行浸种,发现适宜浓度的沼液浸种对柴胡种子萌发有明显的促进作用,其中以 60% 沼液浸种 24 h 处理效果最好,发芽率增高幅度可达 29.93%。冉启英^[57]研究发现,沼液浸种可明显提高生姜的产量,且

与对照相比,浸种 1、3、5、7 h 平均增产分别为 2139.45、2916.45、4237.20、2711.40 kg/hm²。袁大刚等^[58]研究发现,适宜的沼液浓度和浸种时间处理,可提高万寿菊种子发芽率,促进万寿菊幼苗生长。其中,以 50% 沼液浸种 5 h 对万寿菊种子发芽及幼苗生长的综合效果最佳。巴合旦·巴达力等^[59]采用不同浓度沼液研究对玉米种子发芽的影响,结果发现 75% 沼液浸种玉米种子发芽率最高,2 种玉米分别可达 96.67%、98.67%。王显安等^[60]设置人粪尿、沼液、清水、清水 + 温汤 4 个处理,对独活种子进行浸种,发现采用沼液浸种与其他处理相比,独活发芽率、出苗率、生长势、产量均表现最佳。程维舜等^[61]研究发现,不同浓度的沼液(40%、50%、60% 和 100%) 浸种均可提高西瓜种子发芽率和成苗率,其中,以 40% 沼液浸种 24 h 处理的西瓜种子发芽率和成苗率效果最好。陆国弟等^[62]采用培养皿发芽试验,设计 5 个沼液浓度和 3 个浸种时间,研究对蒙古黄芪种子萌发及生理特性的影响,结果发现适宜的沼液浓度和浸种时间有利于蒙古黄芪种子萌发和幼苗的生长。其中以 25% 沼液浸种 5 h 对蒙古黄芪种子萌发和幼苗生长效果最好。

3.2 沼肥防治病虫害

沼液经长时间厌氧发酵,产生了多种生物活性物质,例如有机酸、植物生长激素、B 族维生素、某些抗菌素等。其中有机酸、维生素 B12、植物激素中的赤霉素等对病菌具明显的抑制作用。此外,高浓度的 NH₄⁺ 均有抑制及杀灭病原菌和虫害的作用,一些抗菌素也具有抗菌作用^[63]。马小勇等^[64]研究发现,喷施不同浓度沼液对减轻甘蓝虫害及提高产量、商品率具明显的效果,其中以喷施 66.6% 浓度的沼液驱虫害效果最好。尚斌等^[65]采用牛场新鲜沼液原液研究对番茄灰霉病菌、辣椒疫病病菌、番茄早疫病病菌、黄瓜炭疽病菌、辣椒绵腐病菌和茄子灰霉病菌的抑制作用,发现牛场新鲜沼液对以上各种病菌均有较强抑制作用;但随沼液贮存时间的增加,对辣椒疫病病菌和辣椒绵腐病菌的抑菌率明显下降,对其他病菌无明显抑菌变化。高燕等^[66]研究发现喷施不同浓度沼液,均能够不同程度降低桃树缩叶病的发生,其中,以沼液稀释倍数 1/8 处理的抗病效果最好。桑得福等^[67]施用沼液、沼渣研究对黄芪根腐病的防治效果,发现沼液灌根能很好地防治黄芪根腐病,且灌根次数越多,

防治效果越明显。曹云等^[68]研究发现沼液结合覆膜、闷棚等处理连作土壤 20 d, 能有效降低西瓜土壤中尖孢镰刀菌的数量, 且沼液处理可减缓西瓜枯萎病大面积发生的时间。

3.3 用作饲料

沼液中富含脂肪酸、核黄素、各种氨基酸及蛋白质, 营养丰富, 是动物的优质饲料。例如可以养鱼、喂猪等^[69]。钱伯祈等^[70]利用沼液沼渣代替有机肥料养鱼, 发现沼液饲喂可明显增加吃食性和滤食性鱼类的产量。

3.4 沼液重金属

余高等^[71]研究表明, 猪粪发酵沼液相比鸡粪、牛粪, 其重金属铜、锌、砷、镉含量较高, 而鸡粪中铅、铬含量较高。王科等^[72]研究发现, 重金属含量猪场沼液 > 牛场沼液 > 一般农户沼液。董志新等^[73]发现砷、镉含量呈现秸秆沼液 > 鸡粪沼液 > 猪粪沼液。邵文奇等^[74]研究猪场沼液不同施用量对水稻生长、产量及重金属含量的影响, 结果发现沼液施用使水稻秸秆中汞、铬、铜、砷等重金属含量均有不同程度的增加, 存在一定的重金属风险。杨军芳等^[75]研究发现施用高浓度猪场发酵沼液 ($1.8 \times 10^5 \text{ kg/hm}^2$) 可显著增加有效铜含量, 但低于国家食品卫生标准规定的限量范围。这与叶晶等^[76]研究结果相一致。刘向林等^[77]研究表明, 长期施用鸡粪沼液可增加土壤中砷、铬、汞、镉、铅等含量的积累。张继方等^[78]研究发现, 采用牛粪和秸秆作为发酵原料时, 牛粪比例增大会提高沼液中铜、锌等的含量, 但适当调整牛粪进料比例可控制所产生沼液中的重金属含量。

综上所述, 以猪粪、鸡粪、牛粪等原料发酵的沼液长期或高浓度施用, 均会引起土壤重金属富集, 但由于禽畜种类不同, 所添加饲料的种类和量不同, 使得沼液中重金属含量有所不同。

4 讨论

沼液中因含植物生长所需的多种养分, 施用后可提高油料作物、蔬菜水果的产量, 改善其品质。但不同来源的沼液, 因成分有所不同, 施用量有所差异。目前, 大多数研究侧重于沼液应用的肥用效果, 对其施用方式的研究较少, 没有充分考虑沼液养分含量较化肥低、含水量高的特性以及作物在不同生育阶段水肥需求不同的特点, 而采用不同的施用方式, 从而实现沼液水肥利用效率和作物产量、

品质的提高。故今后因加大沼液施用方式的研究, 进而实现沼液资源效益最大化, 促进其高值利用。

此外, 研究表明施用沼液可提高药用植物的产量, 改善其品质, 但目前对品质的研究仅限于药用植物的初生代谢产物 (如可溶性蛋白、维生素等), 对次生代谢产物 (有效成分) 的研究较少, 限制了沼液在中药材生产中的推广应用。故今后因加大这部分内容的研究, 为实现中药材的无公害生产及可持续发展提供理论依据和技术支撑。

沼液施用可改变土壤的理化性质, 但长期施用, 存在作物和土壤重金属超标的风险。如何防止重金属污染, 促进沼液的可持续利用, 是未来该领域研究的重点和热点。建议: 第一, 从源头控制沼气发酵原料的安全, 禁止含有大量重金属元素的饲料喂养禽畜, 同时避免重金属含量超标的作物秸秆进入沼气池。第二, 大力改善沼气发酵工艺技术, 使有毒有害物质得到充分发酵, 进而确保沼肥施用安全。第三, 沼肥投入施用之前, 应采取相应的技术手段去除其部分重金属。第四, 不同作物需肥规律和需肥量各不相同, 应根据作物的需求把握好沼液施用量, 进而减小重金属污染的风险。另外, 沼液自身含有大量有机质, 其具有的官能团对重金属吸附能力较强, 可与土壤中重金属离子形成络合物, 减少作物和土壤的污染^[79]。

此外, 沼液因长期发酵, 自身存在较大异味, 如何降低沼液异味, 促进沼液的推广应用, 提高其利用效率, 也是今后研究者有望解决的问题。

参考文献:

- [1] 国家发展和改革委员会, 中华人民共和国农业部. 全国农村沼气发展“十三五”规划 [EB/OL]. (2017-02-10). <http://www.gov.cn/xinwen/2017-02/10/5167076/files/797001c427eb47b680c0cd77daad4327>.
- [2] 邹梦圆, 董红敏, 朱志平, 等. 畜禽场沼液处理及资源化利用的研究进展与展望 [J]. 中国家禽, 2020, 42 (09): 103-109.
- [3] 邓良伟, 陈子爱, 袁心飞, 等. 规模化猪场粪污处理工程模式与技术定位 [J]. 养猪, 2008 (6): 21-24.
- [4] Xu M, Xian Y, Wu J, et al. Effect of biogas slurry addition on soil properties, yields, and bacterial composition in the rice-rapeseed rotation ecosystem over 3 years [J]. Journal of Soils and Sediments, 2019, 19 (5): 2534-2542.
- [5] Yu W W, Zhang Z, Luo S R. Study on the characteristics of soil irrigated by biogas slurry in the southwest of China [J]. Asian Journal of Chemistry: An International Quarterly Research Journal

- of Chemistry, 2013, 25 (5): 2861–2865.
- [6] 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, 61.
- [7] 孙国峰, 郑建初, 陈留根, 等. 猪粪沼液施用后土壤理化性状及水稻产量初步研究 [J]. 中国稻米, 2013 (4): 74–76, 79.
- [8] 林少华, 凌玮, 孙芹菊, 等. 滨海盐碱地施用沼液对紫甘蓝生长及土壤性状的影响 [J]. 中国沼气, 2019, 37 (1): 80–87.
- [9] 康凌云, 赵永志, 曲明山, 等. 施用沼渣沼液对设施果类蔬菜生长及土壤养分积累的影响 [J]. 中国蔬菜, 2011 (22): 57–62.
- [10] 王康, 许玉超, 戴辉, 等. 沼液在土壤改良上的应用研究 [J]. 江苏农业科学, 2019, 47 (24): 299–303.
- [11] 李小宇. 连续三年定位施用沼液对水稻生产及土壤环境质量的影响研究 [D]. 成都: 四川农业大学, 2013.
- [12] 杜妍宁. 施用沼液和生物炭对杨树人工林土壤氮、磷的影响 [D]. 南京: 南京林业大学, 2018.
- [13] 乔锋, 肖洋, 赵淑苹. 海林农场沼肥连年施用对玉米产量和土壤化学性质的影响 [J]. 中国农学通报, 2018, 34 (36): 93–98.
- [14] Yu W W, Luo S R, Zhang Z, et al. Soil properties and enzyme activities as affected by biogas slurry irrigation in the Three Gorges Reservoir areas of China [J]. Journal of Environmental Biology, 2015, 36 (2): 513–520.
- [15] 郝燕. 沼液对葡萄园土壤质量和葡萄产量品质的影响 [D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2019.
- [16] 张红, 王桂良. 沼液和氮肥配施对菜田土壤微生物生物量和活性的影响 [J]. 安徽农业科学, 2011, 39 (27): 16601–16603.
- [17] 宋三多. 沼肥施用对成都平原稻麦轮作作物生长及土壤微生物特性影响 [D]. 成都: 四川农业大学, 2017.
- [18] Li J J, Gao W X, Wang F, et al. Effects of digested biogas slurry application mixed with irrigation water on nitrate leaching during wheat–maize rotation in the North China Plain [J]. Agricultural Water Management, 2019, 213: 882–893.
- [19] 张永生. 水稻施用沼肥与常规施肥对产量影响的对比试验 [J]. 吉林农业, 2018 (1): 63.
- [20] 陈璧瑕. 沼液农用对玉米产量、品质及土壤环境质量的影响研究 [D]. 成都: 四川农业大学, 2010.
- [21] 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.
- [22] 王文博, 陈长青, 仇忠启, 等. 不同沼液施灌量对水稻生长及土壤氮磷平衡的影响 [J]. 作物杂志, 2014 (3): 85–91.
- [23] 郑健, 颜斐, 潘占鹏, 等. 中国沼液施用对作物产量效应的 Meta 分析 [J]. 中国沼气, 2019, 37 (2): 78–84.
- [24] 杨智青, 丁海荣, 陈应江, 等. 沼液施用量对大麦农艺性状及饲用品质的影响 [J]. 家畜生态学报, 2019, 40 (5): 59–65.
- [25] 侯福银, 陈应江, 杨智青, 等. 猪粪沼液对水稻农艺性状、产量和饲用品质的影响 [J]. 浙江大学学报 (农业与生命科学版), 2019, 45 (3): 325–331.
- [26] Wu J, Yang Q, Yang G, et al. Effects of biogas slurry on yield and quality of oil-seed rape [J]. Journal of Plant Nutrition, 2013, 36 (12/14): 2084–2098.
- [27] Duan N, Lin C, Gao R Y, et al. Ecological and economic analysis of planting greenhouse cucumbers with anaerobic fermentation residues [J]. Procedia Environmental Sciences 2011 (5): 71–76.
- [28] Yang R. Effect of organic biogas slurry nutrient solution on vegetable quality [C] // Materials for renewable energy & environment (ICMREE). 2011 International Conference on. IEEE, 2011. 1959–1962.
- [29] Yu F B, Zhang M X, Shan S D, et al. Concentrated biogas slurry enhanced soil fertility and tomato quality [J]. Acta Agriculturae Scandinavica. Section B, Soil and Plant Science, 2010, 60 (3): 262–268.
- [30] 蒋华, 王忠义, 李忠碧, 等. 沼液对番茄、萝卜、芹菜、豇豆产量及品质的影响 [J]. 贵州农业科学, 2007, 35 (2): 99–100.
- [31] 王树仁, 孙波. 不同浓度沼液对反季大叶芹产量和质量的影响 [J]. 可再生能源, 2007 (3): 90–91.
- [32] 张卫书, 王承星, 杨占海, 等. 施用猪沼液对白菜产量和品质影响 [J]. 农技服务, 2017, 34 (9): 128.
- [33] 初长江, 李松, 马东辉, 等. 沼液曝气地下滴灌对大棚韭菜产量和品质的影响 [J]. 中国沼气, 2013, 31 (2): 41–43, 47.
- [34] 徐培智, 黄继川, 彭智平, 等. 施用沼液对白菜产量、品质和养分吸收的影响 [J]. 广东农业科学, 2014, 41 (7): 71–73.
- [35] 翟玉莹, 马东飞, 赵亚萍, 等. 施用沼液对辣椒生长及品质的影响 [J]. 江苏农业科学, 2019, 47 (1): 131–134.
- [36] 王晨冰. 叶面喷施沼液及 KH_2PO_4 对设施油桃光合特性及果实品质的影响 [D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2010.
- [37] 王志典. 沼液地下滴灌对黄瓜产量和品质的影响 [J]. 农产品加工, 2018, 38 (2): 15–16.
- [38] 王志典, 马东辉. 沼液间接地下滴灌对红提葡萄产量和品质的影响 [J]. 安徽农学通报, 2018, 24 (5): 46–47.
- [39] 刘小刚. 沼液对红富士苹果果实品质和叶片生理生化特性及土壤酶活性的影响 [D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2007.
- [40] 宋兵伟, 曹新伟, 马皓诚, 等. 沼液叶面喷施对设施哈密瓜品质的影响 [J]. 天津农业科学, 2016, 22 (9): 11–14.
- [41] 陈建伟, 贾亮亮, 赵京奇, 等. 喷施沼液对苹果产量品质及蔗糖代谢相关酶活性的影响 [J]. 北方园艺, 2017 (18): 35–41.
- [42] 孙小波. 沼液配施钾肥对苹果产量和品质的影响 [J]. 落叶果树, 2012 (3): 7–9.
- [43] 高旭, 孔祥俊, 郭雨浓, 等. 沼液替代化肥对甜瓜产量品质及养分吸收的影响 [J]. 北方园艺, 2019 (14): 25–31.
- [44] 李宏业, 王勇, 孙桂香, 等. 蟠桃施肥与品质产量相关性研究 [J]. 石河子科技, 2019 (2): 1–7.

- [45] 周倩倩. 沼液及两种微生物肥料对枸杞生长、品质及产量的影响 [D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2012.
- [46] Xu C M, Tian Y S, Ying X, et al. Effects of biogas slurry irrigation on growth, photosynthesis, and nutrient status of *perilla frutescens* seedlings [J]. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 2013, 44 (20/22): 3381–3390.
- [47] 李金怀, 蒋湖波. 施用沼肥对铁皮石斛幼苗生长影响 [J]. *宁夏农林科技*, 2016, 57 (9): 48–49.
- [48] 王双喜, 吴瑾. 沼肥对栝楼产量与品质的影响 [J]. *现代农业科技*, 2014 (13): 80–81, 83.
- [49] 康钰雪, 郑阳霞, 李钦凤. 沼液与氮肥配施对蒲公英产量及品质的影响 [J]. *长江蔬菜*, 2019 (16): 74–77.
- [50] 周瑾伟. 沼液灌根对当归增产及抗逆性试验研究 [J]. *中国沼气*, 2015, 33 (5): 84–86.
- [51] 安建华, 宋振华. 党参施用沼渣沼液效果初探 [J]. *中国沼气*, 2011, 29 (6): 51–52.
- [52] 刘国胜. 沼液对黄芪施用增产效果试验 [J]. *中国沼气*, 2009, 27 (5): 29–30.
- [53] 刘国胜. 沼渣、沼液对黄芪施用增产效果试验研究 [J]. *甘肃农业*, 2009 (6): 17–18.
- [54] 倪显祥. 不同浸种处理对水稻生长和产量的影响比较 [J]. *现代农业科技*, 2010 (16): 62–63.
- [55] 阿布力孜, 阿力木江, 古丽米热, 等. 不同浓度沼液对棉花浸种和喷施效果试验 [J]. *现代农业科技*, 2009 (3): 175, 177.
- [56] 雍山玉, 桑得福. 不同浓度沼液浸种对柴胡种子发芽率的影响 [J]. *中国沼气*, 2013, 31 (6): 57–58.
- [57] 冉启英. 沼液浸种、施肥在生姜生产上的对比试验 [J]. *现代农业科技*, 2008 (19): 28–29.
- [58] 袁大刚, 刘成, 蒲光兰, 等. 沼液浸种对万寿菊种子发芽及幼苗生长的影响 [J]. *中国中药杂志*, 2011, 36 (7): 817–822.
- [59] 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.
- [60] 王显安, 马超, 胡榜文, 等. 不同浸种方法对独活种子的影响研究 [J]. *安徽农学通报*, 2017, 23 (10): 58–59.
- [61] 程维舜, 张安华, 蔡翔, 等. 沼液浸种和叶面喷施对西瓜萌发农艺性状及品质的影响 [J]. *河北农业科学*, 2018, 22 (5): 34–36.
- [62] 陆国弟, 杨扶德, 王惠珍, 等. 沼液浸种对蒙古黄芪种子萌发及幼苗生理特性的影响 [J]. *中国土壤与肥料*, 2019 (5): 155–162.
- [63] 李晓莉. 沼液对石灰性土壤理化性质及油菜产量的影响研究 [D]. 晋中: 山西农业大学, 2014.
- [64] 马小勇, 陶志刚. 叶面喷施沼液对甘蓝虫害和产量的影响 [J]. *中国沼气*, 2019, 37 (3): 90–92.
- [65] 尚斌, 陶秀萍, 陈永杏, 等. 牛场沼液对几种蔬菜病原菌抑制作用的研究 [J]. *农业环境保护*, 2011 (4): 753–760.
- [66] 高燕, 乔慧, 韩文彪, 等. 沼肥施用对桃树缩叶病的防治效果 [J]. *北方园艺*, 2016 (10): 112–115.
- [67] 桑得福, 雍山玉. 沼液沼渣防治黄芪根腐病田间试验报告 [J]. *中国沼气*, 2011, 29 (4): 55–56.
- [68] 曹云, 吴华山, 郭德杰, 等. 沼液处理对连作西瓜枯萎病发生、产量及品质的影响 [J]. *土壤*, 2015, 47 (5): 904–910.
- [69] 张志平. 沼液的新用途 [J]. *现代农业*, 2018 (6): 38–39.
- [70] 钱伯祈, 卜矛源, 朱莉莉, 等. 沼液沼渣养鱼技术试验报告 [J]. *水利渔业*, 1994 (5): 12–15.
- [71] 余高, 陈芬, 卜玉山, 等. 玉米秸秆对畜禽粪便厌氧发酵后沼渣沼液中重金属含量的影响 [J]. *江苏农业科学*, 2019, 47 (8): 265–268.
- [72] 王科, 张成, 李浩, 等. 不同原料沼气池沼液主要养分含量差异及农用风险分析 [J]. *四川农业科技*, 2019 (8): 36–38.
- [73] 董志新, 卜玉山, 续珍, 等. 沼气肥养分物质和重金属含量差异及安全农用分析 [J]. *中国土壤与肥料*, 2015 (3): 105–110.
- [74] 邵文奇, 纪力, 孙春梅, 等. 不同沼液施用量对水稻生长、产量及重金属含量的影响 [J]. *浙江农业学报*, 2017, 29 (12): 1963–1969.
- [75] 杨军芳, 冯伟, 贾良良, 等. 追施沼液对白菜及土壤重金属含量的影响 [J]. *河北农业科学*, 2015, 19 (5): 68–73.
- [76] 叶晶, 苗纪法, 黄宇民, 等. 沼液灌溉对莴苣重金属含量及产量的影响 [J]. *江西农业学报*, 2014 (7): 96–99.
- [77] 刘向林, 王丽霞, 吴冬悦, 等. 长期施用沼液对土壤及产品的影响 [J]. *中国沼气*, 2018, 36 (2): 87–91.
- [78] 张继方, 袁海荣, 邹德勋, 等. 沼液养分和重金属农用安全风险分析 [J]. *安徽农业科学*, 2012, 40 (19): 10246–10250.
- [79] 华珞, 陈世宝, 白玲玉, 等. 有机肥对镉锌污染土壤的改良效应 [J]. *农业环境保护*, 1998, 17 (2): 55–59, 62.

Research progress on application of biogas slurry

LU Guo-di, YANG Fu-de*, CHEN Hong-gang, DU Tao (Gansu University of Chinese Medicine, Lanzhou Gansu 730000)

Abstract: Biogas slurry is an anaerobic fermentation liquid formed by a variety of fermented microorganisms under closed conditions, such as human and animal feces, crop straw and other organic matter, which contains a variety of nutrients to promote plant growth, growth hormones and has rich amino acids. In recent years, the use of biogas liquid has been vigorously developed with the country's advocacy of eco-agriculture. This paper mainly reviews the effects of biogas slurry application on soil physical and chemical properties (improving soil, improving soil fertility and microbial activity), fertilizer effects (grain and oil crops, vegetables and fruits, medicinal plants), and other effects (seeding soaking, resistance to pests and diseases, feed, heavy metals), in order to provide reference for rational use and application of biogas slurry resources.

Key words: biogas slurry; fertilizer; seeding soaking; resistance to pests and diseases; soil physicochemical properties; heavy metals