



长期施用沼肥对设施菜田土壤养分和盐分累积量的影响

郭全忠, 龚晓松, 刘化隆

(安康学院 旅游与资源环境学院, 陕西安康 725000)

摘要 为研究规模养猪场沼液沼渣在农田施用对土壤养分及盐分含量累积的影响,以安康市某养猪场农业园区施用沼液设施菜田土壤为研究对象,以当地常规施用化肥设施菜田为对照,定点采集施用沼肥区和对照区 0 a、1 a、3 a、5 a 和 7 a 的设施菜地土壤,分别测定土壤中碱解氮、有效磷、速效钾、有机质、全铜、全锌质量分数及电导率和 pH。结果表明,随着沼液沼渣施用年限的增加,土壤中碱解氮、有效磷、速效钾、有机质、全铜、全锌质量分数和电导率均相应增加,7 a 后分别达 96.1 mg/kg、91.5 mg/kg、73.7 mg/kg、11.9 g/kg、118.5 mg/kg、263.4 mg/kg 和 0.366 mS/cm,分别是未施用沼液沼渣土壤中各成分含量的 3.4 倍、1.5 倍、3.3 倍、1.3 倍、3.9 倍、1.88 倍和 4.74 倍,说明施用沼液沼渣能有效增加土壤养分含量,同时土壤养分和盐分快速累积,对土壤环境带来较大的污染风险。

关键词 养猪场;沼液沼渣;施用年限;设施菜田;土壤环境

中图分类号 S158

文献标志码 A

文章编号 1004-1389(2020)01-0127-08

随着养殖业的快速发展,畜禽粪尿、污水等废弃物得不到较好处理导致环境污染问题突出^[1-2],养殖场废弃物如猪粪本身具有能源和肥料价值,向环境中排放猪粪是对资源的巨大浪费,通过一定的资源化处理可使其产生生物能源和高营养肥料^[3]。国家投入大量资金在各养殖场建立一系列沼气工程,通过沼气发酵处理养猪场废弃物,产生的沼液和沼渣因含有大量的有机物质和氮、磷、钾等营养成分,作为优质肥料普遍应用于农业生产中^[4],施用于农田对改善土壤质地,提高农产品产量和质量效果明显^[5-6]。

安康市地处汉江中上游地区,是南水北调水源涵养区,也是国家主体功能示范城市,从 2008 年后开始在规模养猪场中大力推广“猪-沼-菜”循环农业模式,即按养猪场规模配套建设沼气工程,沼气发酵产生的沼液和沼渣作为蔬菜用肥料,以此减少养猪场废弃物对环境的影响,取得了一定的效果。但近年来,部分养猪场菜田土壤开始出现板结、产量下降、病害加剧等现象,“猪-沼-菜”模式开始受到人们的质疑。王腾飞等^[7]研究认为,长期盲目施用以畜禽粪便为发酵原料所产生

的沼液,存在使农田重金属累积超标的风险,从而导致农田系统生态功能下降,引发环境安全问题。本研究选择安康市某大型养猪场“猪-沼-菜”循环利用中的菜田土壤作为研究对象,进行长期跟踪调查,研究沼液沼渣不同施用年限对土壤养分等的影响,分析其存在的环境风险,为合理施用沼液和沼渣提供技术支持和理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

该养猪场位于安康市李家嘴村,平均年出栏生猪 48 万头,日产粪量 8 200 kg,建有大型沼气池 3 个,可处理粪便 90 t/d,所产沼气主要用于发电。为解决沼液沼渣排放问题,该养猪场于 2010 年开始将周边农户土地进行流转,首批流转 233 hm² 坡地进行土地整理后建设塑料大棚种植设施蔬菜,目前共流转土地 1 013 hm²,建成了以“猪-沼-菜”模式为主的农业园区。于 2011 年开始将养猪场沼液沼渣采用漫灌和沟灌相结合的方式部分替代化肥施用,年平均施用沼液沼渣混合液 600 m³/hm²。化肥施用量按当地设施蔬菜施肥

收稿日期:2019-06-03 修回日期:2019-08-21

基金项目:陕西省自然科学基金(2014JM2-2016);陕西省教育厅科研项目(2013JK0892);陕西省大学生创新创业计划(201831048)。

第一作者:郭全忠,男,硕士,副教授,主要从事农业面源污染防治及废弃物资源化利用研究。E-mail:guoqz@sohu.com

量的 50% 施用,以三元复合肥为主,分别施用纯 N 200 kg/hm²、P₂O₅ 150 kg/hm²、K₂O 150 kg/hm²。试验地土壤类型为黄棕壤,首季种植前土壤碱解氮、有效磷、速效钾质量分数分别为 28.5 mg/kg、60.2 mg/kg 和 22.3 mg/kg,有机质质量分数为 9.37g/kg, pH 6.37, 电导率 0.064 mS/cm,全铜、全锌质量分数分别为 30.3 mg/kg 和 140.2 mg/kg。

1.2 试验设计与土壤样品采集

1.2.1 试验设计

从 2011 年开始,采用定点采集研究区土壤样品监测的方法对该试验地土壤环境变化情况进行长期跟踪监测分析。选择 3 个面积约 400 m²、土壤肥力接近的大棚,每年控制沼液施用量 600 m³/hm²。3 个棚种植蔬菜类型以番茄、黄瓜和茄子进行轮作。共设计 5 个年限段进行跟踪监测,分别是 0 a、1 a、3 a、5 a 和 7 a。首季种植前采集土壤样品作为 0 年,第 1 年蔬菜收获后采集的土壤样品作为 1 a,然后每隔 1 a 在当年蔬菜收获后采集土壤样品分别作为 3 a、5 a 和 7 a 土壤样品,设为沼肥处理(ZF)。选择相邻一大棚,按照当地常规施肥方式进行施肥管理,分别施用纯 N 400 kg/hm²、P₂O₅ 300 kg/hm²、K₂O 300 kg/hm²,不施用沼肥,设为对照处理(CK)。在采集园区土壤样品的同时,用相同方法采集对照区土壤样品进行分析。

1.2.2 土壤样品采集

在沼肥处理区和对照区的每个棚采用棋盘法设 8 个土壤样品采集点,采集耕层(0~20 cm)土壤样品,每棚土壤样品混匀后分别测定土壤碱解氮、有效磷、速效钾、有机质、全铜、全锌质量分数及电导率和 pH。然后分别取 3 个沼肥处理大棚和 1 个对照处理大棚土壤样品各测定项目的平均值作为最终测定结果。

1.3 测定项目及方法

碱解氮质量分数采用碱解扩散法测定^[8]。有效磷质量分数采用碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法测定^[9]。速效钾质量分数采用乙酸铵溶液浸提,用 UV-6300(PC)型紫外分光光度计测定^[8]。全铜和全锌采用高氯酸-硝酸-氢氟酸消化,火焰原子吸收分光光度法测定^[10]。土壤 pH 采用电位法测定,称取风干土 10 g 加水 25 mL(水土比为 2.5:1)振荡 30 min 用 PHS-3C 型 pH 计测定;电导率采用电位法测定,称取风干土 4 g 加水 20 mL(水土比为 5:1)振荡 30 min 用 DDS-307 型电导率仪测定^[11]。

2 结果与分析

2.1 施用年限对土壤碱解氮、有效磷和速效钾质量分数的影响

氮磷钾是作物生长最重要的 3 种营养元素,土壤中氮磷钾含量状况直接影响农作物的产量和品质。畜禽粪便中含有作物生长所需的 N、P、K 等营养元素,以其为原料发酵的沼液沼渣作为肥料在农田中施用会对土壤中的 N、P、K 等营养元素累积量产生一定的影响。

2.1.1 对土壤碱解氮质量分数的影响

由图 1 可以看出,ZF 和 CK 中土壤碱解氮质量分数均随施用年限的增加而相应增加,但处理 ZF 的增加幅度略高于处理 CK。在处理 ZF 中,施用沼肥 0 a 的土壤中碱解氮的质量分数为 28.5 mg/kg,施用 1 a 以后为 33.8 mg/kg,是未施用沼液土壤的 1.19 倍;3 a 后为 44.3 mg/kg,较施用 1 a 沼液土壤碱解氮质量分数增加 31.1%,是未施用沼液的 1.55 倍;5 a 后为 72.8 mg/kg,是未施用沼液土壤的 2.5 倍;7 a 后为 96.1 mg/kg,是未施用沼液的 3.4 倍,说明在化肥用量减半的情况下,施用 600 m³/hm² 沼肥代替化肥对提高土壤氮素营养有显著效果。

研究认为,沼液、沼渣部分替代化肥对提高农作物产量和品质,提高土壤氮素养分,改良土壤性质有显著的效果^[12-15]。根据我国第二次土壤普查全国土壤养分分级标准,本研究用地施用沼液 3 a 内土壤碱解氮质量分数 < 60 mg/kg,属 5 级肥力,土壤缺氮。施用 5 a 后土壤碱解氮质量分数为 72.8 mg/kg,处于 61~90 mg/kg 的中下水平(4 级肥力),施用 7 a 土壤碱解氮达 96.1 mg/kg,处于 91~120 mg/kg 间的 3 级肥力,土壤碱解氮质量分数属中上水平。由于研究区土壤碱解氮背景值较低,连续施用沼液 7 a 后土壤碱解氮质量分数虽未明显超标,但从土壤碱解氮增长趋势看,随着施用年限的增加是否会出现氮素营养过度累积的现象需进一步研究。

2.1.2 对土壤有效磷质量分数的影响

由图 2 可知,处理 ZF 和 CK 中土壤有效磷质量分数也均随施用年限的增加而相应增加,处理 ZF 的增幅高于 CK。在处理 ZF 中,施用沼肥 0 a 的土壤有效磷质量分数为 60.2 mg/kg,施用 1 a 和 3 a 后分别为 73.4 mg/kg 和 75.6 mg/kg,增长率为 3%。施用 5 a 后,质量分数达 80.2 mg/kg,是未

施用沼液土壤质量分数的 1.33 倍,施用 7 a 后,质量分数达 91.5 mg/kg,是未施用沼液土壤质量分数的 1.5 倍,研究区土壤速效磷质量分数已达偏高水平^[16]。由于沼渣沼液磷质量分数较高,若长期大量施用,可能会造成土壤磷富集,进而污染地下水。

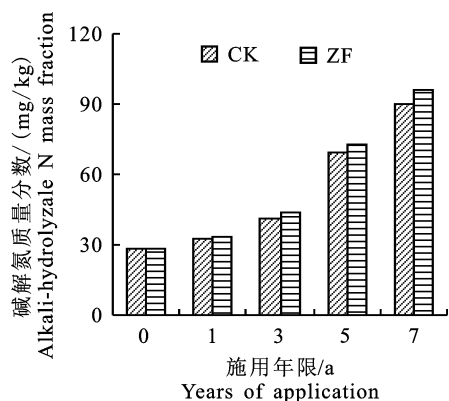


图 1 不同施用年限对土壤碱解氮质量分数的影响

Fig.1 Effects of different years of application on Alkali-hydrolyzable N mass fraction

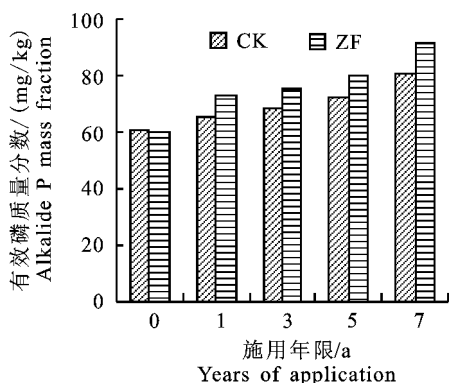


图 2 不同施用年限对土壤有效磷质量分数的影响

Fig.2 Effects of different years of application on mass fraction of soil available P

2.1.3 对土壤速效钾质量分数的影响 由图 3 可知,各处理土壤速效钾质量分数亦均随施用年限的增加而增加,处理 ZF 的增幅亦高于 CK。在处理 ZF 中,未施用沼液土壤中速效钾的质量分数比较低为 22.3 mg/kg。施用 1 a 以后达 30.5 mg/kg,是未施用沼液的 1.4 倍。施用 3 a 至 5 a,质量分数分别达 38.6 mg/kg 和 58.7 mg/kg,分别是未施用沼液的 1.7 倍和 2.6 倍。施用 7 a 以后达 73.7 mg/kg,是未施用沼液土壤的 3.3 倍,累积效果显著。随着施用年限的增加,土壤中速效钾的质量分数也越来越高。从增长速度看,施用沼液沼渣 3 a 后开始土壤速效钾质量分数呈较快

增长趋势,说明沼液沼渣的施用对提高土壤钾素质量分数有较显著效果。本研究结果与李文涛等^[17]和康凌云^[18]的基本一致。

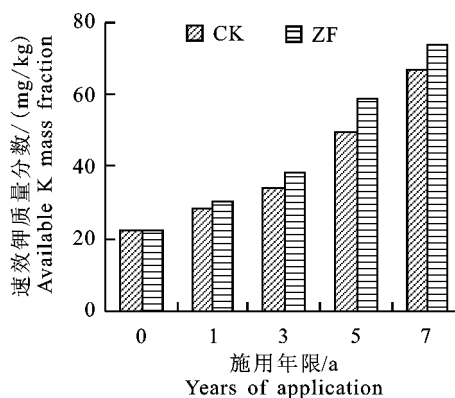


图 3 不同施用年限对土壤速效钾质量分数的影响

Fig.3 Effects of different years of application on mass fraction of soil available K

2.2 施用年限对土壤有机质质量分数的影响

土壤有机质质量分数是衡量土壤肥力的重要标志,有机质质量分数的积累和活化可提高土壤的生产力。由图 4 看出,在 0~3 a 间,处理 ZF 和处理 CK 中土壤有机质质量分数变化不明显,均低于 10 g/kg,这可能与研究区土壤有机质质量分数偏低及作物吸收利用率有关。5~7 a 间,处理 ZF 土壤质量分数明显高于 CK。由于研究区域土壤有机质质量分数背景值较低,小于 10 g/kg,处理 ZF 施用沼肥前 3 a,土壤有机质质量分数从 9.37 g/kg 增加到 9.85 g/kg,仅增加 5.1%,第 5 年和第 7 年分别达 11.07 g/kg 和 11.95 g/kg,较 0 年分别增加 18.3% 和 27.5%,培肥地力效应逐渐显现,但增加速度和幅度明显低于碱解氮、速效磷和有效钾,这可能与沼液沼渣中有机质质量分数较低有关。

隋好林等^[5]采用沼液滴灌番茄试验结果发现,沼液用量在 12 000~14 000 kg 时,土壤有机质质量分数可增加 30.7%,且随着沼液施用量的增加,土壤营养得到改善,土壤微生物总量不断提高,番茄产量和营养品质也呈现不断提高的趋势;本研究与鄂利锋等^[19]的研究结果较为相似。但冯丹妮等^[20]认为,长期施用沼液有利于土壤微生物生长和酶活性提高,但对土壤微生态平衡及土壤质量存在潜在威胁。说明施用沼肥在增加土壤有机质质量分数的同时,其对土壤生态系统的影响不容忽视。

2.3 施用年限对土壤全铜和全锌质量分数的影响

铜、锌是作物必需的微量营养元素,土壤中低浓度铜、锌能促进作物生长,超过一定限度会对作物产生毒害。为了提高产量和效益,养猪场饲料中铜、锌超标导致粪便中残留较高^[21]。由于猪对饲料中的铜、锌等吸收不完全,用猪粪生产沼气产生的沼液沼渣中必然残留一定量的铜和锌,这些沼液沼渣施用在农田中必然会影响到土壤中铜和锌的质量分数。

2.3.1 对土壤全铜质量分数的影响 由图 5 可以看出,CK 处理中全铜质量分数 7 a 间的变幅很小,处于 30.4~30.8 mg/kg。而处理 ZF 土壤中全铜质量分数随着施用年限的增加逐年增加,未施用沼液土壤中全铜的质量分数为 30.3 mg/kg,施用 1 a 后从 30.3 mg/kg 增加到 62.8 mg/kg,增长率为 107%。施用沼液 7 a 后,土壤中全铜质量分数达到 118.5 mg/kg,是未施用沼液土壤的 3.9 倍,土质属于三级标准,已经达到轻微污染。

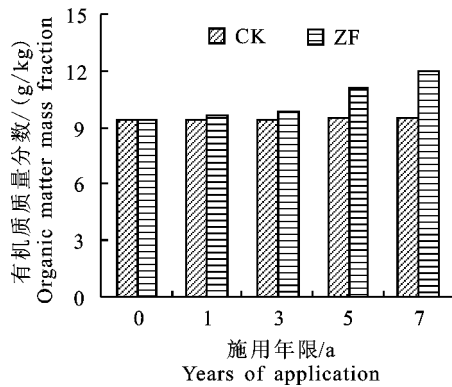


图 4 不同施用年限对土壤有机质质量分数的影响

Fig.4 Effects of different years of application on mass fraction of soil organic matter

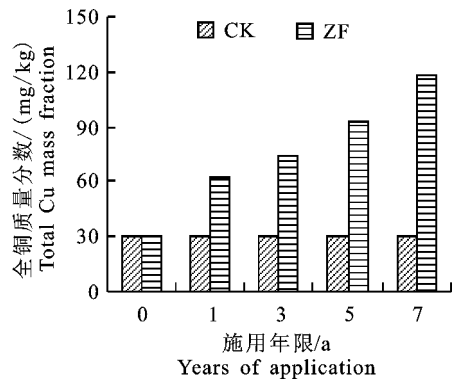


图 5 不同施用年限对土壤全铜质量分数的影响

Fig.5 Effects of different years of application on mass fraction of soil total Cu

2.3.2 对土壤全锌质量分数的影响 由图 6 可以看出,施用年限对土壤全锌质量分数的影响与对全铜质量分数的影响表现相似的规律。CK 处理中全锌质量分数 7 a 间的变幅也很小,在 138.5~139.4 mg/kg。处理 ZF 中未施用沼液土壤中全锌的质量分数为 140.2 mg/kg,已经超过当地土壤自然背景值,施用沼液沼渣 1~3 a,土壤全锌质量分数增加缓慢,这可能与作物对锌的吸收利用有关^[22]。但施用 5~7 a 以后,土壤中全锌质量分数分别快速增加到 233.5 mg/kg 和 263.4 mg/kg,是未施用沼液的 1.88 倍。

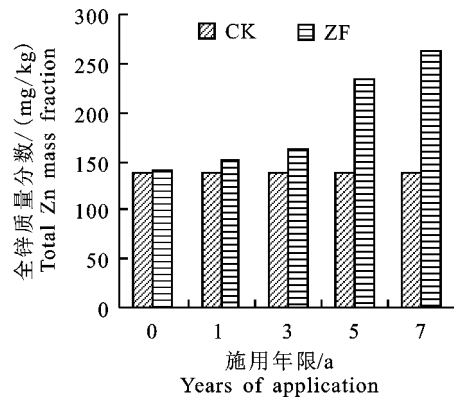


图 6 不同施用年限对土壤全锌质量分数的影响

Fig.6 Effects of different years of application on mass fraction of soil total Zn

2.4 施用年限对土壤酸碱度和盐分质量分数的影响

2.4.1 对土壤酸碱度的影响 pH 是土壤最基本的化学性质之一,对作物及土壤微生物生长有重要作用^[23],由图 7 可以看出,CK 处理土壤 pH 随着化肥施用年限的增加并未发生明显变化。处理 ZF 中,施用沼肥 1 a 后土壤 pH 无明显变化,第 3 年土壤 pH 较 0 a 增加 2.19%,第 5 年至第 7 年出现较大幅度变化,分别增加 4.87%和 6.72%,说明长期施用沼液沼渣会导致酸性土壤 pH 的增加,对调节酸性土壤 pH 有一定作用。

孙国锋等^[24]研究认为,沼液替代化肥处理较常规施肥处理间土壤 pH 无明显差异。刘世亮等^[25]认为,随着畜禽粪便有机肥施用量的增加土壤 pH 相应降低。本研究从施用 1 a 结果看,与孙国锋等^[24]的研究结果相同,但从长期施用结果来看,土壤 pH 变化与刘世亮等^[25]的研究结果相反,这可能与研究区土壤性质、作物品种、猪粪粪源及养猪场猪粪处理方式差异有关,具体产生原因尚需进一步研究。

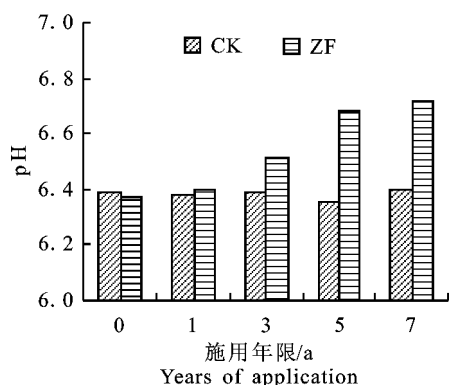


图7 不同施用年限对土壤 pH 的影响

Fig.7 Effects of different years of application on soil pH

2.4.2 对土壤盐分质量分数的影响 土壤电导率代表土壤盐分质量分数的高低,从测定结果看(图8),CK 处理各年份电导率值维持在 0.066~0.086 mS/cm,无明显变化。处理 ZF 随着施用沼肥年限的增加,出现了较明显的变化,在施用沼肥 0~3 a 间,从 0.064 mS/cm 增加到 0.091 mS/cm,增幅较小,说明前 3 a 年盐分累积不明显。但第 5~7 年时,土壤电导率迅速增加到 0.247~0.366 mS/cm,分别是未施用沼液、沼渣土壤电导率的 2.87 倍和 4.74 倍,说明当沼液沼渣施用 5 a 后,土壤盐分呈快速累积现象,土壤盐分快速增加会严重影响土壤环境质量。目前关于沼液沼渣施用对土壤盐分质量分数影响方面的报道尚少,但长期特别是过量施用沼液沼渣引起的土壤盐分的累积及其对土壤环境质量的影响应引起高度重视。

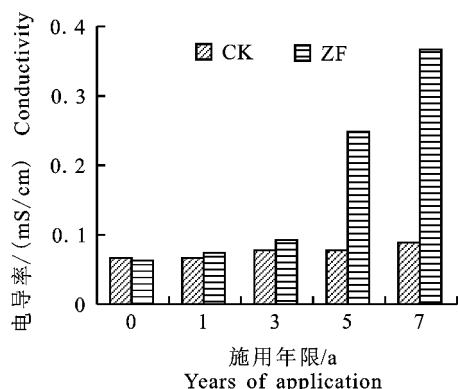


图8 不同施用年限对土壤电导率的影响

Fig.8 Effects of different years of application on soil conductivity

3 讨论与结论

随着养殖场规模的不断扩大,沼气工程成为解决这些养殖场粪便的重要方法之一,且得到快速发展,相应的产生的沼液沼渣等废弃物越来越多,为减轻这些废弃物给环境造成的压力,研究发现,将这些废弃物作为肥料(沼肥)应用于农业生产中,对改善土壤养分含量和结构、提高农作物产量等具有良好的效果^[19]。研究发现,沼肥能显著改善土壤质量、提高作物产量、改善农产品品质等,沼肥可作为一种优质的有机肥料应用在农业生产中,可有效减少农业生产中的农药和化肥使用量,有效减轻环境污染^[26-29]。但由于缺少合理的技术指导,沼肥盲目施用现象较为明显,由此导致的养分累积及有害金属离子污染问题不容忽视^[30]。

近几年,随着养殖场沼气工程的快速发展,产生的沼液沼渣废弃物越来越多,已经给养殖场周边环境带来巨大的压力。以安康市石泉县明星村为例,该村 2010 年共有千头规模以上养猪场 17 家,其中万头规模 4 家,各养猪场均采用沼气工程处理各养猪场废弃物,产生的沼液和沼渣全部用于周边农田中,但经过几年运行后,由于所产生的沼液沼渣量远远超过当地农田的消纳能力,导致当地土壤和空气污染严重,环境压力制约了养猪业的发展,各养猪场纷纷关闭,目前该村仅剩千头以上规模养猪场 7 家。虽然从短期看,一定量的沼肥对农田土壤肥力和作物生长具有促进作用,等氮量沼肥替代化肥不会产生土壤氮素盈余,可有效实现废弃物中的养分资源循环利用,但过量施用沼肥会增加菜田土壤磷素累积和淋失风险^[31],长期过量施用沼肥产生的环境污染问题不容忽视,在沼肥作为肥料施用过程中,研究控制合理的施用量和施用时间对于推进沼肥的有效利用,保护农田土壤环境具有重要意义。

在当地常规施用氮、磷、钾肥量减半的基础上,研究用 600 m³/hm² 沼肥替代化肥对土壤养分的影响发现,与不施用沼肥处理相比,经过对连续 7 a 施用沼肥的设施菜田土壤中碱解氮、速效磷、有效钾、有机质质量分数均随着施用年限的增加而增加,其增幅均高于对照处理,说明施用沼液沼渣对增加设施菜地土壤氮、磷、钾和有机质质量分数有明显效果。但连续施用沼肥 5~7 a 后各养分呈更快速增加的趋势,由此引起的土壤氮、磷

过度累积对土壤生态环境及周围水体环境污染的风险也相应增大。

由于猪饲料添加剂中铜、锌等金属质量分数超标导致的猪粪便中铜、锌质量分数较高,长期施用以这些猪粪便为原料生产的沼肥,土壤全铜、全锌质量分数也随着施用年限的增加相应增加,5 a 后呈快速增加趋势,7 a 后开始表现出土壤铜轻污染现象,而全部施用化肥的对照处理土壤中全铜、全锌质量分数并未发生明显变化,故以猪粪便为原料加工的肥料长期施用引起的土壤铜、锌累积问题应引起高度重视。

土壤酸碱度的变化对土壤质量有较大的影响,由于研究区土壤为弱酸性,与不施用沼肥相比,连续施用沼肥会使当地土壤 pH 升高,对酸性土壤酸碱度有一定调节作用,但本研究结果与前人的一些研究结论有较大差异,需结合不同区域、不同沼肥品种及其他相关要素进一步研究。

关于与本研究区域相近条件下沼肥施用对土壤盐分的影响的相关报道较少,与不施用沼肥相比,通过测定土壤电导率反映土壤盐分含量变化发现,施用沼肥前 3 a 土壤盐分含量增加相对较为缓慢,但 5 a 后快速增长,7 a 后土壤电导率是未施用沼液沼渣的 4.74 倍,说明农田长期大量施用沼液沼渣会导致土壤盐分累,破坏土壤生态环境。

综上所述,短期施用一定量沼肥较不施用沼肥对提高土壤氮磷钾养分质量分数有明显的作,但长期施用会存在一定的养分过量累积风险。同时,沼肥的施用特别是长期施用会增加土壤中铜、锌、和盐分的累积,同时会对土壤酸碱度产生一定的影响。

参考文献 Reference:

- [1] 刘晓永,王秀斌,李书田.中国农田畜禽粪尿氮负荷量及其还田潜力[J].环境科学,2018,39(12):5723-5736.
LIU X Y,WANG X B,LI SH T.Livestock and poultry faeces nitrogen loading rate and its potential return to farmland in China[J].*Environment Science*,2018,39(12):5723-5736.
- [2] 赵艳娟.浅谈农村环境污染及其保护[J].能源与节能,2014(3):99-100.
ZHAO Y J.On the pollution and the protection of the rural environment[J].*Energy and Energy Conservation*,2014(3):99-100.
- [3] 付嘉琦,敖子强,付尹宣,等.规模化养猪场废弃物处理技术综述[J].江西科学,2015,33(5):716-720.
FU J Q,AO Z Q,FU Y X,*et al.*A review on the processing techniques of waste in large-scale pig farms[J].*Jiangxi Science*,2015,33(5):716-720.
- [4] 蔡茂,余雪标,周卫卫,等.沼液排放对土壤质量的影响[J].热带生物学报,2014,5(1):52-56.
CAI M,YU X B,ZHOU W W,*et al.*Effect of slurry on soil quality[J].*Journal of Tropical Biology*,2014,5(1):52-56.
- [5] 隋好林,陈晓峰,秦娜,等.沼液滴灌对番茄产量、品质和土壤理化性状的影响[J].山东农业科学,2016,48(2):80-84.
SUI H L,CHEN X F,QIN N,*et al.*Effects of drip irrigation with biogas slurry on yield and quality of tomato and physical and chemical properties of soil[J].*Shandong Agricultural Sciences*,2016,48(2):80-84.
- [6] 肖洋,田里,路运才,等.沼液和沼渣及化肥配施对土壤肥力的影响[J].中国农学通报,2016,32(11):78-81.
XIAO Y,TIAN L,LU Y C,*et al.*Effects of combined application of biogas slurry,biogas residue and chemical fertilizer on soil fertility[J].*Chinese Agricultural Science Bulletin*,2016,32(11):78-81.
- [7] 王腾飞,谭长银,曹雪莹,等.长期施肥对土壤重金属积累和有效性的影响[J].农业环境科学学报,2017,36(2):257-263.
WANG T F,TAN CH Y,CAO X Y,*et al.*Effects of long-term fertilization on the accumulation and availability of heavy metals in soil[J].*Journal of Agro-Environment Science*,2017,36(2):257-263.
- [8] 刘凤芝,刘潇威.土壤和固体废弃物监测分析技术[M].北京:化学工业出版社,2007:356.
LIU F ZH,LIU X W.Soil and Solid Waste Monitoring and Analysis Techniques[M].Beijing:Chemical Industry Press,2007:356.
- [9] 中华人民共和国农业部.石灰性土壤有效磷测定方法:GB 12297-1990[S].北京:中国标准出版社,1990:153-155.
The Ministry of Agriculture of the People's Republic of China.Method for the Determination of Available Phosphorus in Calcareous Soil:GB 12297-1990[S].Beijing,China Standards Press,1990:153-155.
- [10] 国家环境保护局.土壤质量铜、锌的测定-火焰原子吸收分光光度法:GB/T17138-1997[S].北京:中国标准出版社,1997:104-107.
State Bureau of Environmental Protection.Soil Quality-determination of Copper,Zinc-flame Atomic Absorption Spectrophotometry:GB/T17138-1997[S].Beijing:China Standards Press,1997:104-107.
- [11] 鲍士旦.土壤农化分析[M].北京:中国农业出版社,2000.
BAO SH D.Soil and Agricultural Chemistry Analysis[M].Beijing:China Agricultural Press,2000.
- [12] 张昌爱,刘银秀,单胜道,等.等氮量替代原则下沼液部分替代化肥技术方案[J].中国沼气,2019,37(1):94-97.
ZHANG CH A,LIU Y X,SHAN SH D,*et al.*Technical

- scheme of biogas slurry partially replacing chemical fertilizer with the principle of equal amount of nitrogen substitution[J].*China Biogas*, 2019, 37(1):94-97.
- [13] 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.
YANG J, XU X Y. Influence of applying biogas slurry on yield and quality of lettuce and soil environment[J].*China Biogas*, 2013, 31(6):51-54.
- [14] 艾俊国,孟 瑶,于 琳,等.沼肥与化肥配施对东北春玉米光合生理特性及产量品质的影响[J].*中国土壤与肥料*, 2015(4):59-65.
AI J G, MENG Y, YU L, et al. Effects of combined application of biogas manure and chemical fertilizer on leaf photosynthesis, yield and quality of spring maize in Northeast of China[J].*Soil and Fertilizer Sciences in China*, 2015(4):59-65.
- [15] 李忠华,殷世鹏,孙雁明,等.施用沼液对土壤氮磷钾的影响[J].*现代农业科技*, 2017(12):199-202.
LI ZH H, YIN SH P, SUN Y M, et al. Effect of application of bio-slurry on soil NPK[J].*Modern Agricultural Science and Technology*, 2017(12):199-202.
- [16] 吕贻忠,李保国.土壤学[M].北京:高等教育出版社,2006.
LÜ Y ZH, LI B G. Soil Science[M]. Beijing: Higher Education Press, 2006.
- [17] 李文涛,冯 康,吕 洋.沼液施肥对土壤肥力特性的影响[J].*安徽农业科学*, 2018, 46(20):108-109.
LI W T, FENG K, LÜ Y. The effects of biogas slurry on soil fertility characteristics[J].*Anhui Agricultural Science*, 2018, 46(20):108-109.
- [18] 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(22/24):57-62.
KANG L Y, ZHAO Y ZH, QU M SH, et al. Effects of biogas waste on solanaceae vegetable growth and soil nutrient accumulation in greenhouse [J].*China Vegetables*, 2011(22/24):57-62.
- [19] 鄂利锋,秦嘉海,吕 彪,等.不同肥料对河西走廊日光温室土壤理化性质和番茄产量的影响[J].*西北农业学报*, 2012, 21(5):136-139.
E L F, QIN J H, LÜ B, et al. The effects of different fertilizers on physical and chemical properties of soil and yield of tomato in Hexi[J].*Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 2012, 21(5):136-139.
- [20] 冯丹妮,伍 钧,杨 刚,等.连续定位施用沼液对水旱轮作耕层土壤微生物区系及酶活性的影响[J].*农业环境科学学报*, 2014, 33(8):1644-1651.
FENG D N, WU J, YANG G, et al. Influence of long-term applications of biogas slurry on microbial community composition and enzymatic activities in surface soil under rice-rape rotation[J].*Journal of Agro-Environment Science*, 2014, 33(8):1644-1651.
- [21] 姚丽贤,黄连喜,蒋宗勇,等.动物饲料中砷、铜和锌调查及分析[J].*环境科学*, 2013, 34(2):732-738.
YAO L X, HUANG L X, JIANG Z Y, et al. Investigation of As, Cu and Zn species and concentrations in animal feeds[J].*Environmental Science*, 2013, 34(2):732-738.
- [22] 张 辉,李文凤,赵盈盈,等.猪粪对土壤不同形态铜、锌含量及蔬菜的影响[J].*浙江农业科学*, 2019, 60(5):816-818.
ZHANG H, LI W F, ZHAO Y Y, et al. Effects of pig manure on copper zinc content and vegetables in different soil forms[J].*Zhejiang Agricultural Science*, 2019, 60(5):816-818.
- [23] 薛 磊,徐万里,顾美英,等.pH及盐分对大丽轮枝菌微生物核形成的影响[J].*西北农业学报*, 2017, 26(10):1520-1528.
XUE L, XU W L, GU M Y, et al. Effect of pH and salinity on microsclerotia formation of *Verticillium dahliae* [J].*Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 2017, 26(10):1520-1528.
- [24] 孙国锋,周 炜,何家骏,等.猪粪沼液施用后土壤理化性质及小麦产量的变化[J].*江苏农业学报*, 2012, 28(5):1054-1060.
SUN G F, ZHOU W, HE J J, et al. Changes of soil physical and chemical properties and wheat yield after swine manure or slurry application[J].*Jiangsu Journal of Agricultural Sciences*, 2012, 28(5):1054-1060.
- [25] 刘世亮,刘晨旭,刘洪恩,等.畜禽粪便有机肥与氮肥配施对小麦土壤理化性状及酶活性影响[J].*西北农业学报*, 2014, 23(8):45-51.
LIU SH L, LIU CH X, LIU H E, et al. Effects of combined application of animal manure organic fertilizer and nitrogen on wheat soil physical & chemical properties and enzyme activities[J].*Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 2014, 23(8):45-51.
- [26] 贾亮亮,赵京奇,杨晨璐,等.追施沼肥对番茄生长、产量和品质的影响[J].*西北农业学报*, 2017, 26(6):897-905.
JIA L L, ZHAO J Q, YANG CH L, et al. Effect of top-dressing biogas fertilizer on growth, yield and quality of tomato[J].*Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 2017, 26(6):897-905.
- [27] 王永翠,曹社会,初 雷,等.沼液与氮肥不同配比对青贮玉米干物质累积量和土壤肥力指标的影响[J].*西北农业学报*, 2010, 19(9):163-167.
WANG Y C, CAO SH H, CHU L, et al. Effects of different proportion of biogas slurry and nitrogen fertilizer application on dry matter accumulation of silage maize and soil fertility [J].*Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 2010, 19(9):163-167.
- [28] 李泽碧,王正银,李清荣,等.沼液、沼渣与化肥配施对茼蒿产量和品质的影响[J].*中国沼气*, 2006, 24(1):27-30.
LI Z B, WANG ZH Y, LI Q R, et al. Effects of combined application of biogas digestate and chemical fertilizer on

- yield and quality of lettuce [J]. *China Biogas*, 2006, 24(1):27-30.
- [29] 宫国辉, 孙 凯, 姜淑兰, 等. 沼肥与化肥配施对辣椒和番茄生长发育及品质的影响 [J]. *东北农业科学*, 2017, 42(2):34-38.
- GONG G H, SUN K, JIANG SH L, *et al.* Effect of combinatory application of biogas manure and chemical fertilizer on the growth and development of pepper and tomato [J]. *Journal of Northeast Agricultural Sciences*, 2017, 42(2):34-38.
- [30] 段 然. 沼肥肥力和施用后潜在污染风险研究与土壤安全性评价 [D]. 兰州: 兰州大学, 2008.
- DUAN R. Research of the fertility of marsh fertilizer on the soil pollution potential risks and safety evaluation [D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2008.
- [31] 高杰云, 康凌云, 严正娟, 等. 沼肥替代化肥对设施蔬菜产量和土壤养分及重金属累积的影响 [J]. *农业工程学报*, 2017, 33(17):200-206.
- GAO J Y, KANG L Y, YAN ZH J, *et al.* Effects of biogas manure replacing chemical fertilizer on accumulation of nutrient and heavy metal in greenhouse vegetable soil [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2017, 33(17):200-206.

Study on Effect of Long-term Application of Biogas Manure on Soil Nutrients and Salt in Protected-land Vegetable Field

GUO Quanzhong, GONG Xiaosong and LIU Hualong

(College of Tourism and Environment and Resources, Ankang University, Ankang Shaanxi 725000, China)

Abstract In order to study the effect of long-term application of biogas manure on soil nutrients and salinity in large-scale pig farms, vegetable fields with application of biogas from pig farms in agricultural park of Ankang area were taken as object. The vegetable fields with application of the chemical fertilizer as control, the soil was collected from the fixed point land with application of biogas liquid and CK 0, 1, 3, 5 and 7 years, the mass fractions of alkali-hydrolyzed nitrogen, available phosphorus, available potassium, organic matter, total copper and total zinc in soil were determined. The results showed that the mass fractions of alkali-hydrolyzed nitrogen, available phosphorus, available potassium, organic matter, total copper, total zinc and conductivity increased with increase of years of application of biogas liquid and residue. Seven years later, it respectively reached 96.1 mg/kg, 91.5 mg/kg, 73.7 mg/kg, 11.9 g/kg, 118.5 mg/kg, 263.4 mg/kg and 0.366 mS/cm, respectively, which was 3.4 times of the content of each component in the soil without biogas liquid. 1.5 times, 3.3 times, 1.3 times, 3.9 times, 1.88 times and 4.74 times. It showed that the application of biogas liquid and residue could effectively increase the content of soil nutrients, while the rapid accumulation of soil nutrients and salt would cause serious pollution risk.

Key words Pig farm; Biogas liquid and residue; Period of application; Facility vegetable field; Soil environment

Received 2019-06-03 **Returned** 2019-08-21

Foundation item Shaanxi Natural Science Foundation (No. 2014JM2-2016); Research Project of Shaanxi Provincial Education Department (No. 2013JK0892); University Student Innovation and Entrepreneurship Program of Shaanxi (No. 201831048).

First author GUO Quanzhong, male, master, associate professor. Research area: pollution prevention and utilization of agricultural sources and wastes. E-mail: guoqz@sohu.com

(责任编辑: 史亚歌 **Responsible editor: SHI Yage**)