

畜禽粪污沼液的综合利用及处理方式研究综述

牛希成, 董泰丽, 刘静 (山东民和生物科技股份有限公司, 山东蓬莱 265600)

摘要 从沼液的初级资源化利用、沼液资源的深度开发以及沼液污水处理3个方面对畜禽粪污沼液的利用及处理方式进行系统地阐述,并对当前畜禽粪污沼液的利用及处理过程中存在的问题及研究方向进行展望。

关键词 沼液;资源化利用;污水处理

中图分类号 S216.4 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2016)29-0026-04

Summary of the Multipurpose Use and Dealing Ways about Poultry Manure Bio-slurry

NIU Xi-cheng, DONG Tai-li, LIU Jing (Shandong Minhe Bio-technology Co. Ltd, Penglai, Shandong 265600)

Abstract The multipurpose use and dealing ways of poultry manure bio-slurry were elaborated from three parts; primary resource recovery, deeply exploitation and sewage treatment, and then the utilization of poultry manure bio-slurry, existing problems were analyzed and research direction in the future was forecasted.

Key words Bioslurry; Resource recovery; Sewage treatment

近年来,随着畜禽粪污沼气工程的规模化、集约化发展,大型沼气发电或生物燃气提纯项目越来越多,随之而来的沼液问题也日益严重。据不完全统计,截至2011年,全国大中型的沼气工程已达73 000多处,年产沼液沼渣量达10亿t。而随着国家生物能源战略的调整,沼气工程近几年的发展趋势更加迅速,产生的沼液量也更加庞大。

畜禽粪污沼液含有丰富的有机及无机营养物质,可用作叶面肥、浸种剂以及动物的饲料添加剂等。但由于沼液含水量较高、储存运输困难、经济价值相对较低等特点,因而其推广应用受到很大限制。当工程规模过大,产生的沼液量远远超过当地农田最大消纳量时,由于其含有较高的氨氮、磷酸盐、腐殖酸等有机成分,碳氮比例严重失衡,从而变成1种难以治理的废水,若随意排放会对自然环境尤其是水体环境造成严重伤害。针对沼液的不同利用及处理方式,国内外已进行了大量的研究报道,但主要是针对其单一方面的利用及处理进行介绍,系统全面的阐述文章相对较少。基于此,笔者将目前畜禽粪污沼液的主要利用及处理方式进行系统概述,以期为该领域的研究提供参考。

1 畜禽粪污沼液的初级资源化利用

畜禽粪污沼液不仅含有丰富的氮、磷、钾、钙、镁、铁、锰等中微量元素,而且还含有大量腐殖酸、氨基酸、核酸等有机有益成分,是1种非常好的叶面肥资源和饲料添加剂。另外,畜禽粪污沼液还含有吡啶乙酸、细胞分裂素、赤霉素等植物生长调节物质以及喹啉酮、糖类、维生素、多胺等生物活性成分^[1-2],对作物的品质改善及抗病防虫具有良好的促进作用。

1.1 畜禽粪污沼液在作物生长、品质提高方面的应用 目前,国内外关于沼液在作物上的应用已有大量报道。Lavinia等^[3]在《BIOSLURRY: A SUPERME FERTILISER》中详细阐述了沼液对蔬菜、水果、豆类等几个品类50多种作物的应用

效果,研究发现,沼液对其中几乎所有作物具有促进生长作用。国内对沼液作为肥料或拌种剂等方式在果树、蔬菜及棉花等多种作物上的应用也进行了大量的试验^[4-5]。不同试验均表明沼液不仅可以增加作物的产量、提高种子发芽率^[6-7],而且还可以相应地提高农产品的品质。袁祖华等^[8]发现,沼液可以有效提高黄瓜的可溶性糖和V_c含量,最高可分别提高42.40%和30.15%。向永生^[9]在试验中发现,沼液可以将茶中的水溶性浸出物含量提高7.5%,对茶多酚和咖啡碱含量也有一定的促进作用。王卫平等^[10]利用沼液替代化肥对柑橘树进行灌溉,结果显示柑橘中的总糖含量可以提高0.60%,可滴定酸含量降低0.26%,柑橘的口感得到显著提高。

1.2 畜禽粪污沼液在作物抗病防虫方面的应用 据张无敌等^[11]的报道,沼液对作物的抗病防虫作用非常明显,其已被证实至少对17种作物的近30种病害以及19种虫害有良好的防治作用。另外,尹芳等^[12]在实验室内研究了沼液对14种作物常见病原菌的抑制作用,发现沼液对烟草赤星病菌、稻瘟病菌等5种病原菌具有强烈的抑制效果,对甘薯黑斑病菌、西芹细菌等5种病原菌具有中等的抑制作用,且沼液浓度越高抑制效果越好。桑得福等^[13]采用沼液、沼渣不同处理方式对黄芪进行灌根处理,结果表明施用沼液、沼渣对黄芪根腐病具有很好的防治效果,并且沼液灌根次数越多防治效果越明显,病情指数从42.81%降至11.94%。张伦德等^[14]发现,沼液在柑橘上应用对于红蜘蛛、蚜虫的防治效果优于农药。

另外,沼液经常与杀虫、杀菌剂配合使用可以提高杀菌、杀虫效果。顾伟涛等^[15]利用猪粪沼液复配5种不同农药对番茄早疫病病原菌进行防治效果研究,发现复配沼液后农药的杀菌效果均得到显著提升,且其对菌丝的抑制效果优于对孢子的抑制效果。郭生虎等^[16]利用沼液复配的杀菌剂进行黄瓜霜霉病防效试验,结果表明10%丙烷脒甲霜灵+沼液的复配杀菌剂的防治效果显著优于其他处理,其5 000倍稀释液与10%丙烷脒甲霜灵500倍水乳液防治效果相当。

关于沼液在防病抗虫方面的机理报道较少,李正华^[17]

基金项目 国家科技支撑计划项目(2014BAD24B01)。

作者简介 牛希成(1984-),男,山东滨州人,硕士,从事沼液资源化利用及污水处理研究。

收稿日期 2016-08-26

研究认为,氨氮、赤霉素、吡啶乙酸以及有机酸是最主要的抗病防虫因子;而马艳等^[18]认为,拮抗微生物是防病抗病的主要因子,同等条件下无菌滤液的抗病效果远远低于沼液原液。

1.3 沼液在农业养殖方面的应用 沼液在农业养殖方面的应用亦有报道。郝民杰等^[19]发现沼液对生长期的成蝇和幼蝇均有明显的促生长作用。有研究表明,在粗放的饲养环境下,猪日增重可达 26%,育肥期可缩短 20%^[20]。吴巨昌^[21]的研究结果表明,沼液施用于鱼塘可使鱼苗成活率提高 10%~20%,成鲜鱼产量可提高 19%~38%,同时还可改善鱼的鲜味。

2 沼液价值的深度开发利用

由于沼液具有含水量高、营养成分偏低、气味大等特点,因而制约了其产业化和商品化的进行。随着工业技术的发展,沼液浓缩逐渐成为沼液价值深度开发的重要方式。利用不同方式将沼液中多余水分去除可以提高沼液养分含量,从而使其成为养分全、效果好的高端有机肥料。山东民和生物科技股份有限公司已经建成了可处理 300 t/d 鸡粪沼液的沼液膜浓缩工程,浓缩后的“新状态”产品已推向市场且取得良好的反响,其膜浓缩后的清液可以直接回用冲刷鸡舍,达到了循环利用的目的。

2.1 沼液浓缩技术 膜技术应用之前,沼液浓缩主要依靠加热蒸馏法进行,该方法能耗高,对沼液成分破坏大,经济性不佳。随着膜技术在污水处理方面的发展与应用,利用不同膜工艺对沼液进行提纯浓缩已逐渐成为沼液浓缩的主要技术手段,其优点是纯物理过程浓缩,对沼液破坏小,可截留重金属、抗生素等有害物质,提高浓缩液的商品性和安全性。

目前国内外应用于沼液膜浓缩的研究主要集中在超滤膜(UF)、纳滤膜(NF)以及反渗透膜(RO)等。梁康强等^[22]利用 DTRO 设备对沼液进行了浓缩,经过预处理后,在运行压力为 4.5~5.5 MPa 情况下取得了最佳的浓缩效果,可将沼液浓缩 4~5 倍。宋成芳等^[23]采用超滤膜和纳滤膜相结合的方法,在不同 pH 下,沼液体积浓缩倍数均可超过 20 倍,且磷元素和部分微量元素浓度甚至可提高 100 倍以上。Ruan 等^[24]利用 MF+UF+RO 对沼液进行了浓缩,RO 工艺可将 UF 清液浓缩 5 倍,97% 以上的化学需氧量(COD)和氨氮被截留在浓液当中。徐国瑞^[25]利用纳滤膜将猪粪和牛粪进行了不同浓度地浓缩,并根据国家 NY1429—2010 含氨基酸水溶肥料标准进行配制,结果表明猪粪浓缩沼液配制的无土栽培营养液种植的作物产量和叶绿素较纯无机营养配方均有明显提高。

2.2 其他高价值利用 随着生物能源的需求越来越大,利用富油微藻炼制生物柴油逐渐成为热点。利用沼液中养分全的特点进行微藻养殖,一方面可以减少温室气体排放,另一方面可回收利用污水氮、磷元素,同时还可降低生物能源成本。王翠^[26]将富油小球藻在不同浓度沼液的培养基中进行培养,结果发现在沼液浓度为 50%、接种 OD_{680} 值为 1.023 左右、光照强度为 4 000 lx、光暗周期 20:4、初始 pH 为 7.0 的

条件下,生物量和油脂含量达到最佳,总氮、总磷利用率均在 90% 以上。赵凤敏等^[27]利用 4 种产油小球藻在不同沼液添加比例的培养基中筛选出了 1 株产油率最高的 BJ05 藻种,在沼液污水与绿藻培养基体积比为 1:3 情况下,其产油率为 9.20 mg/(d·L),高于纯绿藻培养基的 8.66 mg/(d·L)。另外,吴慧斌^[28]在鸡粪沼液中分离得到了叶黄素、6-羟基-3,4-二氢喹啉-2-酮和大豆甾醇 3 种化合物,发现喹啉酮类对 2 种肿瘤细胞具有良好的抑制作用,该研究为沼液的深度开发提供了一定的方向和基础。

3 沼液废水的处理

当沼液产生量超过当地土壤的消纳能力后,由于其氨氮、总磷和 COD 含量较高,成分复杂且碳氮比失衡,从而成为 1 种难以处理的工业污水。若单纯利用化学法处理成本太高,对企业是 1 种巨大的负担,因此目前主要采用相对经济的生物法进行处理。生物法主要分为自然生物处理方法和生化处理法。

3.1 自然生物处理方法 自然生物处理方法主要为氧化塘和人工湿地处理方法。氧化塘与水体的自净化类似,是 1 类依靠自然生物净化使污水达到净化的方式,而人工湿地是人为建造和控制的类似于沼泽的地面,利用物理、生物和化学方法对沼液进行处理。二者均适用于土地宽广、气候温和且周边有荒地和林地的地区,优势是投资少、设备简单,劣势为占地面积大,在土地稀缺地区难以实现,处理效果受外界因素干扰多,尤其是在北方其受温度影响较大。靳红梅等^[29]的研究结果表明,多级氧化塘可显著降低沼液中的氮、磷含量。朱凤香等^[30]对茭白、莲藕和水稻的沼液净化能力进行了研究,结果表明茭白和莲藕需 7 d 左右可将 COD 和氨氮含量约为 1 000 mg/L 的猪粪沼液处理到畜禽养殖业污水排放标准,而水稻需要 14 d 左右。

3.2 生化处理法 当前常用的污水处理工艺有厌氧-好氧活性污泥法(A_N/O)、氧化沟法、间歇式活性污泥法(SBR)、生物膜法等。其中 SBR 方法因为工艺简单、操作灵活、出水稳定、抗冲击能力强而被广泛应用,是沼液处理最常用方法,约占所有工程的 90%。由于沼液碳氮比失调,腐殖酸、富里酸等难以分解的有机物质含量较多,可生化性较低,因此直接利用 1 种工艺很难使沼液达到污水排放标准,尤其是以鸡粪为原料产生的沼液,其 COD 和氨氮含量是猪粪沼液的数倍,生物法处理难度更大,通常需要配合其他化学、物理工艺或不同生物处理方式组合进行处理。

3.2.1 A_N/O 工艺。 A_N/O 工艺是污水处理中应用较为广泛的技术,具有出水水质好、脱氮效率高、占地省等优点。毕胜兰^[31]利用正交试验探索 A_N/O 工艺处理沼液的最佳运行条件,结果表明在溶解氧(DO)含量为 2.0~3.0 mg/L、回流比为 200%、停留时间为 36 h 的最优工况下,沼液中的 COD 和氨氮去除率分别为 91% 和 95%。余薇薇等^[32]采用改良型二级 A/O 工艺处理畜禽养殖场的沼液,经过 1 个月的驯化,当全进沼液后,通过调节沼液与原水的比例,使碳氮比达到 5,并以 7:3 的比例注入第 1、第 2 厌氧池内,COD、氨氮和总磷的

去除率分别可达 89.0%、93.2% 和 98.8%。邓觅^[33]利用一体式的A/O工艺处理猪粪沼液,在进水碳氮比为 2.6 的情况下,出水 COD 含量维持在 330~380 mg/L,消化液回流比为 200%时,氨氮去除率为 89.4%。

3.2.2 SBR 工艺及其改进工艺。SBR 法又称续批式活性污泥法,原理同活性污泥法,只是该方法是通过时间控制将调节池、曝气池和沉淀池等集中在 1 个池子进行。方炳南等^[34]利用常规 SBR 工艺对 COD 含量为 1 500~4 000 mg/L、氨氮含量为 200~600 mg/L 的沼液直接处理,COD 去除率仅为 20%,氨氮去除为 60%,在处理过程中添加碱维持平衡,氨氮去除效果仍不理想,说明畜禽粪便厌氧发酵沼液不适合直接利用 SBR 工艺进行处理,需要对工艺进行优化调整。

邓良伟等^[35]利用 SBR 工艺直接处理猪粪沼液发现效果不佳,经过检测,发现厌氧发酵后的沼液 BOD₅:N:P 仅为 2.3:8.0:1.0,且其碳氮比严重失调。利用生活污水将沼液 BOD₅:N:P 变为 11:7:1,增加沼液的可生化性,并对氨氮菌进行驯化,COD 和 BOD 去除率分别可达 89.9%~93.4%、97.9%,氨氮去除率可达 99% 以上。邓良伟等^[36]利用厌氧+原水+间隙曝气(Anarwia)工艺处理猪粪废水,并与厌氧-SBR 以及 SBR 处理猪场废水进行比较,结果表明 Anarwia 工艺与 SBR 方法去除效果相当,其污染物去除率高,氨氮和 COD 可以达到 GB18596—2001 的排放标准。陈碧美等^[37]利用 2 次进水 SBR 方法处理猪粪沼液,前后添加原水比例为 2:1,前后 SBR 停留时间为 2.9 d,结果显示出水氨氮含量为 58.64 mg/L,COD 含量降至 400 mg/L 以下,但总磷含量相对较高,需用硫酸亚铁进行沉淀才可以达标。王锋等^[38]利用鸟粪石+SBR+混凝工艺可将鸡粪沼液中的 COD 含量由 9 200 mg/L 降至 280 mg/L、氨氮含量由 3 200 mg/L 降至 36 mg/L、总磷含量由 270 mg/L 降至 3 mg/L。马焕春^[39]利用三级微电解-电极-SBBR 工艺处理畜禽养殖场沼液,可将氨氮含量由 800~1 600 mg/L 降至 56~79 mg/L,COD 含量由 4 400~6 600 mg/L 降至 231~396 mg/L,均达到 GB18586—2001 的排放标准。

3.2.3 膜生物反应器(MBR)工艺及其组合工艺。张威等^[40]利用 AO 工艺+浸没式 MBR 工艺处理猪场废水,进水 COD 含量为 9 100 mg/L、氨氮含量为 450 mg/L,经处理后,出水 COD 含量<85 mg/L、氨氮含量<5 mg/L。税勇等^[41]采用 MBR(传统膜生物反应器)和 BF-MBR(生物膜式膜生物反应器,无纺布填料)2 种工艺对沼液进行处理,在 COD/TN 提高至 2.3±0.4 时,BF-MBR 对氨氮和 COD 的去除率分别为 92.3%±2.4% 和 97.5%±4.1%,而 MBR 对氨氮和 COD 的去除率分别为 91.9%±1.5% 和 91.2%±14.0%。冯亮^[42]的研究结果表明,当低浓度沼液(COD 含量≤500 mg/L,氨氮和总氮含量≤500 mg/L,总磷含量≤20 mg/L)经过 A/O-MBR 处理后,可以达到《农田灌溉水质标准》要求,而高浓度沼液(COD 含量为 500~3 000 mg/L,氨氮和总氮含量为 500~1 500 mg/L,总磷含量为 20~50 mg/L)需经过化学絮凝-A/O-MBR 工艺处理,沼液才可以达到农田排放标准,

但二者对总氮的去除效率均不佳,氮主要以硝酸盐形式排出。

3.2.4 新型工艺。短程硝化反硝化除氮工艺又称 Sharon 工艺,其基本原理是通过控制好氧段工艺,使氨氮转化为亚硝态氮,抑制亚硝态氮向硝态氮转化,然后直接回流至厌氧段进行脱氮处理,从而缩短硝化反应路程。厌氧氨氧化工艺又称 ANAMMOX 工艺,其基本原理是厌氧条件下,氨氮可以和亚硝酸盐直接反应生成氮气,减少对有机物和溶氧的依赖。二者可以从根本上降低沼液处理的加碱量和能耗。

赵楠婕等^[43]利用 ANAMMOX 工艺处理猪场沼液,结果表明该工艺可以大大减少有机物的加入,工艺最佳运行条件下,氨氮去除率达 87.60%,亚硝态氮去除率达 99.96%,该工艺还可节约 62.5% 的耗氧量和 50.0% 的耗碱量;随后该学者利用 Sharon 和 ANAMMOX 工艺组合对氨氮含量为 700 mg/L 的沼液进行处理,结果表明氨氮和 COD 去除率分别可达 94.3% 和 89.3%^[44]。

宋国梁^[45]利用 Sharon-ANAMMOX 工艺处理高氨氮浓度猪场废水厌氧消化液,在进水氨氮含量为 431.09 mg/L 时,出水氨氮含量为 35.63 mg/L,总氮去除率达 83.31%,完全达到 GB18586—2001 污水排放标准的要求。

4 展望

目前,关于沼液应用及处理方面研究很多,并取得了一定的进展,但仍有许多方面需要加强。

(1) 沼液在不同作物上的应用已有大量研究和报道,但沼液作为生物农药方面的开发相对不足,其抗病防虫机理研究相对不够深入。

(2) 沼液浓缩膜的价格相对昂贵,且长时间运行会存在堵膜或膜寿命缩短的现象。膜的耐用及抗堵塞性能方面需进一步研究。另外,浓缩后的沼液产品国家暂无相应的肥料标准,为使其走向商品化而添加其他化学成分以达到国家现有肥料标准会对沼液的有机特性产生一定的破坏作用。

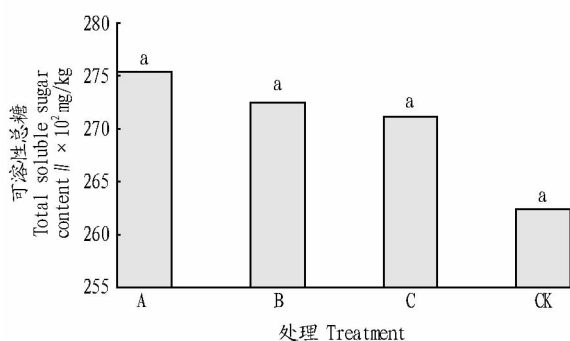
(3) 目前 COD 和氨氮含量过高的鸡粪沼液处理仍是 1 个难题,许多沼液处理工程需额外添加碳源和碱来维持处理效果,这不仅造成二次污染,而且还大大增加了处理成本。理论上短程硝化反硝化工艺和厌氧氨氧化工艺联合可降低能源和碱的消耗,但大多停留在实验室研究阶段,真正在工程上应用的较少,需进一步加强研究,克服现有技术难题,使其得到广泛应用。

参考文献

- [1] 霍翠英,吴树彪,郭建斌,等.猪粪发酵沼液中植物激素及喹啉酮类成份分析[J].中国沼气,2011,29(5):7-10.
- [2] 宋成芳,单胜道,张妙仙,等.畜禽养殖废弃物沼液的浓缩及其成分[J].农业工程学报,2011,27(12):256-258.
- [3] LAVINIA W, HARRIE O. Bioslurry: A supreme fertiliser: A study on bioslurry results and uses[M]. [s.l.]: Hivos, 2014: 22-42.
- [4] 康凌云,赵永志,曲明山,等.施用沼液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(21):57-62.
- [5] 韩凤.棉花沼液沼渣试验总结[J].新疆农业科技,2011(4):16-17.
- [6] 宋洪川,张无敌,孙世中,等.沼液浓度对韭菜种子发芽的影响研究[J].农村能源,2000(1):22-23.
- [7] 李或,蒋芳玲,刘明池,等.不同沼液浓度对番茄、西瓜种子萌发的影响[J].蔬菜,2011(7):55-57.

- [8] 袁祖华,石洪艳. 沼液在黄瓜上的应用效果研究[J]. 现代农业科技, 2010(14):97-99.
- [9] 向永生. 沼液用作茶叶叶面肥的初步研究[D]. 武汉:华中农业大学, 2006.
- [10] 王卫平,陆新苗,魏章焕,等. 施用沼液对柑桔产量和品质以及土壤环境的影响[J]. 农业环境科学学报, 2011, 30(11):2300-2305.
- [11] 张无敌,宋洪川,丁琪,等. 沼气发酵残留物防治农作物病虫害的效果分析[J]. 农业现代化研究, 2001, 22(3):167-170.
- [12] 尹芳,张无敌,宋洪川,等. 沼液对某些植物病原菌抑制作用的研究[J]. 可再生能源, 2005(2):9-10,36.
- [13] 桑得福,雍山玉. 沼液沼渣防治黄芩根腐病田间试验报告[J]. 中国沼气, 2011, 29(4):55-56.
- [14] 张伦德,周才巨,贺光伦. 沼液防治柑橘害虫和蚜虫效果试验[J]. 中国热带农业, 2001(1):63-64.
- [15] 顾伟涛,刘畅,骆林平,等. 沼液复配农药对番茄早疫病病原菌的抑制效果[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(4):2074-2075,2078.
- [16] 郭生虎,张源沛,朱金霞,等. 沼液复配杀菌剂防治黄瓜霜霉病效果初报[J]. 北方园艺, 2001(3):21-23.
- [17] 李正华. 厌氧发酵沼液的抗病防虫机理及其应用技术研究[D]. 郑州:河南农业大学, 2002.
- [18] 马艳,李海,常志州,等. 沼液对植物病害的防治效果及机理研究 I:对植物病原真菌的抑制效果及抑制机理初探[J]. 农业环境科学学报, 2011, 30(2):366-374.
- [19] 郝民杰,张磊,庄松林. 沼液对蚯蚓生长和繁殖的影响[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(25):13739-13740.
- [20] 金家志,绍凤君. 沼液在农业上的综合利用[J]. 资源节约和综合利用, 1991(2):36-38.
- [21] 吴巨昌. 沼液的饲用价值[J]. 科学养鱼, 1995(3):12-15.
- [22] 梁康强,阎中,朱民,等. 沼气工程沼液反渗透膜浓缩应用研究[J]. 中国矿业大学学报, 2011, 40(3):470-475.
- [23] 宋成芳,单胜道,张妙仙,等. 畜禽养殖废弃物沼液的膜浓缩过滤试验研究[J]. 中国给水排水, 2011, 27(3):84-86.
- [24] RUAN H M, YANG Z R, LIN J Y, et al. Biogas slurry concentration hybrid membrane process: Pilot-testing and RO membrane cleaning[J]. Desalination, 2015, 368:171-180.
- [25] 徐国瑞. 沼液纳滤膜浓缩技术及其液体有机肥开发研究[D]. 杭州:浙江大学, 2012.
- [26] 王翠. 沼液培养基中富油小球藻 (*Chlorella vulgaris*) 的高密度培养[D]. 南京:南京工业大学, 2010.
- [27] 赵凤敏,梅帅,曹有福,等. 基于沼液的培养基及产油小球藻藻种选育[J]. 环境科学, 2014, 35(6):2300-2304.
- [28] 吴慧斌. 沼液中活性成分的分析及菇类转化机制探究[D]. 上海:上海海洋大学, 2015.
- [29] 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(1):291-296.
- [30] 朱凤香,王卫平,陈瑞琦,等. 利用人工湿地栽种水生作物对沼液进行无害化消解[J]. 浙江农业学报, 2011, 23(2):364-368.
- [31] 毕胜兰. 两级 A₂/O 工艺用于奶牛养殖低 C/N 值沼液处理[D]. 重庆:重庆大学, 2011.
- [32] 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.
- [33] 邓宽. 一体式 A/O 反应器对猪场沼液脱氮除磷机制与效果的研究[D]. 南昌:南昌大学, 2014.
- [34] 方炳南,顾欣欣,朱亮,常规 SBR 工艺对猪场沼液的处理性能研究[J]. 中国沼气, 2012, 30(1):27-30.
- [35] 邓良伟,蔡昌达,陈铭铭,等. 猪场废水厌氧消化液后处理技术研究及工程应用[J]. 农业工程学报, 2002, 18(3):92-94.
- [36] 邓良伟,郑平,陈子爱,等. Anarwia 工艺处理猪场废水的技术经济性研究[J]. 浙江大学学报, 2004, 30(6):628-634.
- [37] 陈碧美,陆文忠,苏蓉,等. 两次进水 SBR 法处理养猪场废水厌氧消化液[J]. 能源环境保护, 2010, 24(2):19-26.
- [38] 王锋,严潇南,杨海真,等. 鸡粪厌氧发酵沼液达标处理工艺研究[J]. 农业机械学报, 2012, 43(5):84-90.
- [39] 马焕春. 畜禽养殖场沼液的微电解-电极-SBBR 处理工艺研究[D]. 重庆:西南大学, 2013.
- [40] 张威,任玉芬,蒋胜韬,等. 浸没式 MBR 技术在养猪场废水处理中的应用[J]. 环境工程学报, 2009, 3(11):2005-2008.
- [41] 税勇,川岸朋树,宋小燕,等. 两种膜生物反应器处理养猪沼液的研究[J]. 环境科学, 2015, 36(9):3319-3327.
- [42] 冯亮. 磷酸铵镁法-膜生物反应器组合工艺处理养猪沼液效果研究[D]. 上海:同济大学, 2014.
- [43] 赵楠婕,解庆林,游少鸿,等. 厌氧氨氧化工艺处理猪场废水沼液的试验研究[J]. 四川环境, 2012, 31(5):4-7.
- [44] 赵楠婕. 短程硝化厌氧氨氧化联合工艺处理养猪污水沼液实验研究[D]. 桂林:桂林大学, 2009.
- [45] 宋国梁. SHARON-ANAMMOX 工艺处理高氨氮猪场废水厌氧消化液[D]. 北京:中国农业科学院, 2007.

(上接第 25 页)



注:不同小写字母表示处理间在 0.05 水平差异显著。

Note: Different lowercases in the same column indicated significant differences at 0.05 level.

图 3 不同处理对甜椒可溶性总糖含量的影响

Fig. 3 Effects of different treatments on the total soluble sugar content of pimiento

上均有较大的提升,且以从苗期开始补光处理效果最好,其产量较对照增加 82.81%,商品率较对照也大幅提高。商品的价格与商品性密切相关,甜椒经补光处理后商品性大为改善,因而其经济价值也有较大的提升。这与吴根良等^[6]的研究结果一致。

蔬菜中硝酸盐的累积是一个复杂的过程,其受硝态氮吸收及还原同化的控制,同时也受光照条件的影响。该试验中,对照的硝酸盐含量远高于其他 3 个补光处理,说明 LED 红蓝光补光有助于减少硝酸盐的吸收量,从而提高蔬菜品质,这与高波等^[7]在芹菜中的研究结果一致。甜椒维生素 C 含量变化与硝酸盐一致,但可溶性总糖含量各处理间差异不大,该结论与吴根良等^[6]、闻婧等^[8]的研究结果不一致。这可能与研究对象的不同有关,具体原因有待进一步探究。

参考文献

- [1] 刘晓英,常涛涛,郭世荣,等. 红蓝 LED 光全生育期照射对樱桃番茄果实品质的影响[J]. 中国蔬菜, 2010(22):21-27.
- [2] LI Q, KUBOTA C. Effects of supplemental light quality on growth and phytochemicals of baby leaf lettuce[J]. Environmental and experimental botany, 2009, 67(1):59-64.
- [3] 周晚来,刘文科,闻婧,等. 短期连续光照下水培生菜品质指标变化及其关联性分析[J]. 中国生态农业学报, 2011, 19(6):1319-1323.
- [4] 齐连东,刘世琦,许莉,等. 光质对菠菜草酸、单宁及硝酸盐积累效应的影响[J]. 农业工程学报, 2007, 23(4):201-205.
- [5] 马超,张欢,郭银生,等. LED 在芽苗菜生产中的应用及前景[J]. 中国蔬菜, 2010(20):9-13.
- [6] 吴根良,郑积荣,李许可. 不同 LED 光源对设施越冬辣椒果实品质和产量的影响[J]. 浙江农林大学学报, 2014, 31(2):246-253.
- [7] 高波,杨振超,李万青,等. 3 种不同 LED 光质配比对芹菜生长和品质的影响[J]. 西北农业学报, 2015, 24(12):125-132.
- [8] 闻婧,杨其长,魏灵铃,等. 不同红蓝 LED 组合光源对叶用莴苣光合特征和品质的影响及节能评价[J]. 园艺学报, 2011, 38(4):761-769.