

# 沼肥对水果产量、品质和土壤理化性质影响的研究现状

刘红艳<sup>1</sup>, 胡 涵<sup>2</sup>, 王昌梅<sup>1</sup>, 尹 芳<sup>1</sup>, 赵兴玲<sup>1</sup>, 吴 凯<sup>1</sup>, 杨 斌<sup>1</sup>, 张无敌<sup>1</sup>

(1. 云南师范大学, 云南 昆明 650500; 2. 红河州农业环保工作站, 云南 蒙自 661199)

**摘 要:** 沼肥是生物质厌氧发酵产沼气后的残余物, 包括沼液和沼渣, 其营养成分全面、肥效高和能有效防治病虫害。沼肥合理施用于水果种植中不仅能提高水果产量、改善水果品质、防治水果病虫害, 还能改善土壤理化性质、提高土壤肥力、缓解土壤的板结酸化。文章总结了施用沼肥对提高水果产量、改善水果品质和对防治水果抗病虫害的作用。分析了沼肥对改善土壤理化性质、提高土壤肥力的作用, 以为沼肥的利用发展提供参考。

**关键词:** 沼肥; 水果品质; 土壤肥力

中图分类号: S216.4 文献标志码: B 文章编号: 1000-1166(2019)06-0065-05

**Research Status of the Effect of Biogas Fertilizer on Fruit Quality, Yield, and Soil Physicochemical Properties / LIU Hong-yan<sup>1</sup>, HU Han<sup>2</sup>, WANG Chang-mei<sup>1</sup>, YIN Fang<sup>1</sup>, ZHAO Xing-ling<sup>1</sup>, WU Kai<sup>1</sup>, YANG Bin<sup>1</sup>, ZHANG Wu-di<sup>1</sup> / (1. Yunnan Normal University, Kunming 650500, China; 2. Honghe Prefecture Agricultural Environmental Protection Workstation, Mengzi 661199, China)**

**Abstract:** Biogas fertilizer is the residue produced by anaerobic fermentation of biomass, including biogas slurry and biogas residue. It has comprehensive nutrient, high fertilizer efficiency, can effectively control diseases and insect pests. This paper summarized the effects of applying biogas fertilizer on improving fruit quality and yield, and controlling diseases and insect pests. The effects of biogas fertilizer on improving soil physicochemical properties and improving soil fertility were also analyzed, providing reference for utilization of biogas fertilizer.

**Key words:** biogas fertilizer; fruit quality; soil fertility

沼气发酵是有机物质(如秸秆、粪便、垃圾以及有机废弃物等)在厌氧条件下,由种类繁多、数量巨大且功能不同的微生物在适宜条件下分解代谢形成可燃性气体混合物的过程<sup>[1]</sup>。沼气发酵不仅能促进我国农村产业结构的调整,而且对推动生态农业建设有着重要意义<sup>[2]</sup>。沼肥是沼气发酵的副产物,是一种优质高效的有机肥料,其含有多种微量元素、腐殖酸、维生素和生长素等,这些营养物质利用率高,能迅速被作物吸收利用<sup>[3]</sup>。

沼肥可替代化肥和农药,能减少化肥和农药的使用量 20% 以上,科学合理地应用在农作物和果蔬上,可提高农作物和果蔬的产量、改善品质、提高抗性、预防病虫害等<sup>[4-6]</sup>。在现有文献的基础上,本文综述了沼肥在水果生产中对果实产量和品质等方面

的影响,以为沼肥在水果上的高效利用提供技术支持,从而确保水果的安全生产。

## 1 沼肥的化学组成

沼肥是农作物秸秆和畜禽粪便等生物质经过沼气池厌氧发酵制取沼气后的残渣和废液(即沼渣和沼液),有机废弃物经过微生物的分解,最终生成了以  $\text{CH}_4$  和  $\text{CO}_2$  为主要成分的气体和水,只有小部分难以降解的物质和新生长的微生物细胞以厌氧消化的污泥形式残存<sup>[7]</sup>。沼肥中富含大量的发酵微生物产物,是一种优质有机肥,其含有易于被作物吸收利用的氮、磷、钾等营养元素,以及各种水解酶类、B 族维生素类、氨基酸类、植物激素、抗生素类以及腐殖酸等生物活性物质(见表 1);还含有丰富的矿物

收稿日期: 2018-12-11 修回日期: 2018-12-25

项目来源: 云南省农村能源工程重点实验室基金(2017KF03); 云南省新能源重大专项(2015ZB001; 2015ZB005); 云南省科技计划(2015XB019); 云南省科技特派员(20151A022); 西南地区可再生能源研究与开发协同创新中心项目(05300205020516009) 联合资助。

作者简介: 刘红艳(1994-),女,云南陆良人,硕士,研究方向为生物质能工程, E-mail: 1947068413@qq.com

通信作者: 张无敌, E-mail: wootichang@163.com

质,可提供植物生长所需的矿物质元素<sup>[8]</sup>。由于厌氧发酵的原料种类繁多,这也决定了其养分含量因发酵原料、比例和时间而不同<sup>[9-10]</sup>。如重庆某地沼液全量和水溶性氮磷钾养分平均含量均为  $K > N > P$ <sup>[11]</sup>,而吕锦萍<sup>[12]</sup>等人研究发现,以猪粪沼液中总磷含量最高,秸秆沼渣中总氮含量较高,且沼渣中有机质和腐殖质含量与发酵原料相关性较低,牛羊粪沼渣肥总磷含量低于猪粪沼渣肥,总钾和有机质含量明显高于猪粪沼渣肥,总氮含量则二者接近。

表1 沼肥的主要养分含量 (%)

项目	有机质	腐殖质	全 N	全 P	全 K
沼液肥	—	—	0.03~0.08	0.02~0.07	0.05~1.4
沼渣肥	30~50	10~20	0.8~0.2	0.4~1.2	0.6~2.0

## 2 沼肥的肥料化应用

沼肥的养分含量比堆肥法制备的有机肥的养分含量高,氮、磷、钾的回收率超过 90%,且大部分已转化为速效态<sup>[13]</sup>。沼液用作追肥,它含有的氨基酸、各种微量元素、维生素和其它营养成分可直接被茎叶吸收,参与光合作用,从而提高产量,还可以改善农产品营养品质<sup>[14]</sup>。沼渣具有速效兼备的营养成分,可直接作为肥料施用,对作物具有良好的增产效果,沼渣和沼液浸种、根外追肥相结合效果更佳<sup>[15]</sup>。在沼肥肥料化利用方面,我国许多地区先后不同规模地开展了利用沼肥施用于蔬菜、果树、茶树、花卉等方面的研究与示范(见表2)。

表2 沼肥肥料化利用研究与成果<sup>[16]</sup>

对象	利用方式	效果
小麦	沼液浸种	发芽率提高 2.73%,千粒重增加 3.04 g,增产 19.4%。
玉米	沼液浸种、浇心叶	增产防虫
棉花	沼液喷施、灌溉与浸种	增产 13.8% 防治棉花枯萎病,改善品质。
花生	沼液浸种,沼渣作肥料	减少病虫害 20%,每公顷增收 1440 元。
蔬菜	沼液水培	早熟增产,减少病虫害。
辣椒	沼液沼渣作肥料	增产增收,改善品质。
生菜	沼渣作肥料	增产 56.7% 降低硝酸盐含量。
黄瓜	沼液沼渣作肥料	增产 7.72%~16.42%,增强植株抗病抗逆能力。
番茄	沼液沼渣作肥料	增产 88.24%,改善品质。
枇杷	沼渣施肥	增产,减少病虫害。
兰花	沼液沼渣作肥料	改善品质,延长花期。
茶叶	沼渣作肥料	增产增收,改善品质。

## 3 沼肥对水果产量和品质的影响

### 3.1 对水果产量的影响

沼肥的全氮、全磷、全钾含量均高于人粪尿和猪粪,有机质含量比人粪尿高 5~6 倍,比猪粪高 2~3 倍,所以沼肥增产效果显著<sup>[17]</sup>。用沼肥种植的葡萄座果率明显提高,果实含糖量提高 0.5~0.8 度,单粒重比施化肥的提高 0.5~0.9 g,每 667 m<sup>2</sup> 增产 43~143 kg<sup>[18]</sup>。在黄花梨树种植的试验中,施用沼肥能促进黄花梨的生长发育,增强树的长势和抗逆性,与施用成品有机肥及梨专用复混肥相比,株产分别增加 7.7% 和 19.1%,单果重分别增加 6.6% 和 16.4%<sup>[19]</sup>。许卫娜<sup>[20]</sup>研究表明,施用沼气发酵残留物对苹果树增产效果显著,与施用化肥相比,增产 4.03%~12.17% (户用沼气池) 2.66%~14.01% (工程沼气池)。张利<sup>[21]</sup>等研究表明,沼肥和化肥配合施用能明显提高西瓜的产量,比常规施肥增产 93.7%。沼液是一种速效的液肥,用于果树叶面喷施,具有收效快,利用率高的特点。试验表明,施用沼液后的枣果产量和产值均显著高于对照,施沼液每亩 (667m<sup>2</sup>) 比施畜粪水每亩产量高 895.95 kg,产值比对照增加 18%,并且能有效降低虫害和生理裂果<sup>[22]</sup>。蒋华<sup>[23]</sup>等在桃树上的试验表明,喷施沼液 60% (折 180 kg·667 m<sup>-2</sup>),可以增产 22.6%,单果重比对照增加 69 g。用沼液浇灌量 300000 kg·hm<sup>-2</sup> 替代化肥,可使柑桔增加产量 8.59%<sup>[24]</sup>。以单施沼渣作基肥,生长前期追施沼液或沼渣使甘蔗增产 21.9%,且能促进植株生长,降低烂果率,提高商品性能<sup>[25]</sup>。施用沼肥能提高香蕉的产量,特别是施用沼液配方肥处理的产量较高,与其它肥料相比,其单株产量增加 12.91%<sup>[26]</sup>。在沼肥用于草莓的生产中,与使用化肥、有机肥进行对比试验,结果发现 50% 沼液浓度对草莓的始花期、浆果变色期和成熟期比施用化肥提前 2~3 d,对草莓株高、叶面积和冠径的增长效果明显,产量比化肥提高 40 g·株<sup>-1</sup><sup>[27]</sup>。

多数研究表明,合理施用沼肥可以促进作物生长,提高果实产量<sup>[28]</sup>。但也有研究表明<sup>[29]</sup>,在苹果园施用大量沼液超出苹果树养分需求,导致叶片颜色加深,春梢生长量增大,但产量却没有明显增加。吉顺<sup>[30]</sup>等研究指出,施用沼液后,对桃树的单枝长度和叶片宽度没有显著影响。这表明是由于施用的沼液发酵原料、施入剂量、时间及果园管理等均有一定关系,如施用不合理,特别在沼液浓度过高的情况

下,会引起作物的伤痕烧苗等现象,从而显著降低其产量。

### 3.2 对水果品质的影响

通过研究发现,水果品质是决定水果口感、风味和营养的关键因素,直接影响着水果的品质等级和商品价值<sup>[31]</sup>。从沼肥种植香梨、红枣、葡萄等水果作物的效果来看,其中香梨施用沼肥后,能提高可溶性固形物,但果形指数和单果重均低于对照;葡萄和红枣施用沼肥后,可溶性固形物有所提高,但对果实纵横径和色泽影响不明显<sup>[32]</sup>。在施用沼渣 30 kg·株<sup>-1</sup>为基肥的条件下,苹果树喷施 60% 的沼液 5 次后,可使苹果可溶性糖、维生素 C 含量、可溶性固形物、可滴定酸含量、苹果硬度分别比喷施清水的提高 59.72%, 48.82%, 38.34%, 30.77%, 55.56%<sup>[33]</sup>。施用沼液喷施和追肥与追施化肥相比,椪柑果肉中可溶性蛋白、总糖含量和维生素 C 含量均有所增加,冷藏后的固酸比和糖酸比都高于对照,能够有效增加椪柑的储存期<sup>[34]</sup>。郭双连<sup>[35]</sup>等施用沼肥在桃子和柿子上的试验表明,沼肥、土杂肥配合施用,能够明显提高柿子和桃子的总糖、还原糖和维生素 C 含量,其中对于柿子酸度较对照降低了 31.82%。维生素是人体生命活动不可缺少的营养物质,刘倩雯<sup>[36]</sup>等研究表明施用沼肥后枣的还原型 VC 含量最高,总糖含量显著提高,并显著提高枣树果树的有效成分含量。当在不同时期对杏树喷施适当浓度的沼液有利于提高杏树果实的可溶性固形物含量、降低可滴定酸、提高固酸比,从而改善口感,提高品质<sup>[37]</sup>。

此外,沼液和化肥配施使葡萄维生素 C 提高 5.3%, 还原糖提高 6.2%, 糖/酸提高 9.5%<sup>[38]</sup>。施用沼液能显著提高石榴的可溶性固形物,但对维生素 C 的影响不大<sup>[39]</sup>。赵玲<sup>[40]</sup>等研究表明,50% 沼液处理草莓产量较好,并可有效地降低草莓果实的酸度和亚硝酸盐含量,维生素 C 和固酸比较对照分别提高 63.85%、64%, 因此在生产中可以大面积推广利用。

### 3.3 抗病防虫作用

研究发现,在农业生产中施用沼液和沼渣,不仅能起到促进作物生长发育的作用,还能对作物的大部分病虫害起到减轻或防治的作用<sup>[41]</sup>。沼肥是一种广谱性“生物农药”,目前它已经对 30 种病害、19 种虫害具有明显的防治效果,对 17 种农作物病原菌有不同程度的抑制效果,利用沼肥既不会带来抗性

问题,也不会对环境造成类似农药、化肥的污染<sup>[42-43]</sup>。沼肥中含有多种激素和微生物分泌的活性物质,能够有效地防治红蜘蛛和蚜虫虫害,对西瓜枯萎病的发生有一定的抑制作用,促枯萎病秧苗痊愈生长作用<sup>[44]</sup>。在蜜柑上施沼肥后,未出现叶片黄化,叶色也比猪粪及化肥处理的深,在蜜柑树新梢抽发前、中期以沼液喷施叶片,使得 85% 以上的红蜘蛛虫、卵被杀死<sup>[45]</sup>。在整个生长期施用沼肥后,苹果树的抗逆性显著增强,病虫害显著减轻,特别是喷施纯沼液 36 小时后,苹果蚜虫杀灭率达 98%,从而减少化学农药的使用量,苹果质量得到提高,节本增效显著<sup>[46]</sup>。施用沼肥可提高柿树的抗病虫害性,改善经济性状,施用沼肥的柿树树体高大,叶色翠绿以及病虫害较少<sup>[47]</sup>。施用沼渣、沼液的金丝小枣果树与对照化肥组果树相比,植株和果实抗逆、抗病性显著增强,果树的蚜虫除治率可达 95% 以上<sup>[48]</sup>。施用沼肥后,草莓植株生长健壮、叶色浓绿、抗病性好,灰霉病烂果率下降 9%,不仅增大了产出投入比,同时对环境保护及草莓的安全生产有一定的积极意义<sup>[49]</sup>。施用沼肥后,果树的抗病虫性增强,从而减少化学农药用量,水果质量得到提高,节本增效显著。

## 4 沼肥对果园土壤的理化性质的影响

为了提高农作物单位面积上的产量,大量使用化肥和农药,造成土壤酸化、板结和养分失调,不仅进一步加速了土壤的退化,而且还影响了农业的可持续发展<sup>[50]</sup>。沼肥中含有的腐殖质能够增加土壤的有机质含量并改善土壤的孔隙度,提高土壤保水保肥性能<sup>[51]</sup>。Choke Milked<sup>[52]</sup>等试验发现,利用沼液处理的土壤有机质和全氮含量增幅明显,磷、硫的有效性显著提高,钾的变化不明显。沼肥施用苹果树后,果园土壤的全磷、有效磷、硝态氮、有效铁、有效铜含量分别比常规果园土壤提高 59.7%, 97.1%, 67.1%, 24.2%, 45.5%, 沼肥增加土壤养分效果显著<sup>[53]</sup>。有研究表明,当在果园中施用沼液配方肥后,与施用常规化肥相比,不同土层土壤有机质增加 2.98% ~ 3.93%, 碱解氮增加 2.25% ~ 17.07%, 有效磷增加 5.59% ~ 18.64%, 速效钾增加 25.20% ~ 39.20%<sup>[54]</sup>。沼肥施用于葡萄树上,沼肥中的 N、P、K 和微生物,不但提高了土壤中的速效 N、P、K 含量,还通过沼肥中丰富的 K 含量,提高了树体的光合效率<sup>[55]</sup>。学者进一步研究表明,如果过

量施用沼肥,沼液中的硝态氮会随着沼肥施用量的增加而增加,从而污染土壤深处的地下水<sup>[56]</sup>。另外,用沼渣作为基肥,可以疏松土壤,有利于土壤微生物的活动和土壤团粒结构的形成,增强土壤肥力,对促进作物生长具有积极的作用<sup>[57]</sup>。随着沼肥用量的增加,土壤活土层深度比对照增加 8 cm 以上,土壤容重减小  $0.03 \sim 0.20 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ,孔隙度增加  $0.7\% \sim 6.6\%$ ,改善了土壤物理性质<sup>[58]</sup>。

## 5 总结

沼肥能提供水果生长所必需的营养供给,且经过严格的厌氧发酵以后,将发酵原料中的病菌、虫卵大部分杀死,是一种无公害、无污染的优质肥料。施用沼肥能促进水果快速吸收和转换营养成分,提高水果产量,改变水果体内糖类代谢,促进还原糖的积累,保证个体品质性状,同时有效降低病虫害风险。施用沼肥后,土壤有机质含量增加,长期施用能够显著提高土壤肥力。然而,由于沼肥来源复杂,所提供的养分含量也不相同,当施用的沼肥超出水果养分需求,会影响水果的产量和品质,因此对不同来源的沼肥在水果作物上应该根据情况合理利用。当完全施用沼肥替代化肥或沼肥与化肥进行混合施用,可以有效地防治水果病虫害。另外,沼肥中累积的重金属含量和养分高,因此应深入研究沼肥对土壤和水果作物重金属含量的积累影响。

## 参考文献:

- [1] 张全国. 沼气技术及其应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.
- [2] 肖国良, 李国梁, 卜乐平. 浅谈我国农村沼气的发展利用现状[J]. 安徽农业科学, 2015, 43(10): 228-230.
- [3] 陶红歌, 李学波, 赵延林. 沼肥与生态农业[J]. 可再生能源, 2003, 2(2): 37-38.
- [4] 李幼霞. 沼气系统在持续农业发展中的作用与地位[J]. 环境导报, 1994, 6(6): 29-31.
- [5] R. K. Gupta, V. R. Sharma, K. N. Shirma. Increase the yield of paddy and wheat with the application of biogas slurry[J]. Progressive Farming, 2002(39): 22-24.
- [6] Jothi G, Pugalendhi S, Poornima K. Management of root-Knot nematode in tomato with biogas slurry[J]. Biore-source Technology, 2003, 89(1): 169-170.
- [7] 王国惠. 环境工程微生物学[M]. 北京: 化学工业出版社, 2011: 170-171.
- [8] 符艳辉. 沼肥的潜在价值和利用现状以及发展趋势[J]. 农业与技术, 2015, 35(3): 148-149.
- [9] 张岳. 沼气及其发酵物在农业生产中的综合利用[J]. 农业环境保护, 1998, 17(2): 94-95.
- [10] 熊承永. 中国沼气近期科研情况和发展趋势[J]. 中国沼气, 1998, 16(4): 45-48.
- [11] 钟攀, 李泽碧, 李清荣, 等. 重庆沼气肥养分物质和重金属状况研究[J]. 农业环境科学学报, 2007, 26(增刊): 165-171.
- [12] 吕锦萍, 李俊杰, 巴哈提古丽, 等. 博州地区沼气池沼液沼渣有机质及养分含量分析[J]. 中国沼气, 2008, 26(5): 28-29.
- [13] 周孟津. 沼气实用技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004: 28-342.
- [14] 董德林. 沼液分层次利用效果的初步研究[J]. 中国沼气, 1996, 14(2): 34-37.
- [15] 侯扬阳. 沼渣沼液在农业生产中的综合利用[J]. 时代农机, 2018, 45(1): 165.
- [16] 李幼霞. 沼气系统在持续农业发展中的作用与地位[J]. 环境导报, 1994, 6(6): 29-31.
- [17] 史作宪, 赵体顺, 赵天榜, 等. 林业技术手册[M]. 郑州: 河南科学技术出版社, 1988: 82-83.
- [18] 陈锋, 张顺仁, 陈承福. 沼肥在葡萄上应用效果初报[J]. 中国沼气, 2003, 21(2): 38-39.
- [19] 李忠才. 沼肥对黄花梨生长与结果的影响[J]. 福建果树, 2006, 2(2): 29-30.
- [20] 许卫娜, 邱凌, 聂俊峰, 等. 沼气发酵残留物对苹果品质的影响[J]. 中国农学通报, 2007, 23(9): 350-353.
- [21] 张利, 李立军, 冯志国, 等. 施用沼肥对西瓜品质和产量的影响[J]. 中国沼气, 2012, 30(3): 41-44.
- [22] 刘海龙, 高艳丽. 红枣施用沼液试验报告[J]. 中国沼气, 2007, 25(3): 34-35.
- [23] 蒋华, 石元奎, 王中书, 等. 施用沼液对桃树产量、品质的影响[J]. 中国园艺文摘, 2011, 27(10): 26-27.
- [24] 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.
- [25] 袁炳富, 石道开. 沼肥用于甘蔗对比试验[J]. 农村能源, 1995, 1(1): 21-24.
- [26] 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.
- [27] 潘丽娜, 陈劫. 沼渣与其它肥料用于草莓生产的试验对比[J]. 中国沼气, 2004, 22(2): 34-36.
- [28] 廖川康. 浅谈沼肥在种植业上的应用[J]. 土肥植保, 2017, 34(12): 74.
- [29] 周桂珍. 红富士苹果园施用沼液试验[J]. 中国果树, 2007, 25(5): 17-20.

- [30] 吉顺, 沈应柏, 李忠秋, 等. 施用沼液对桃树光合作用及生长量的影响[J]. 中国沼气, 2003, 21(3): 29-31.
- [31] 李京栋, 张吉国, 史建民. 中国水果国际竞争力分析[J]. 对外经贸, 2014, (3): 4-8.
- [32] 苏柳芸, 申毅, 李景军, 等. 施用沼肥对苹果树生长及产量的影响[J]. 山西果树, 2016, (3): 12-14.
- [33] 刘文盈, 等. 沼肥施用量对苹果树生长及产量的影响[J]. 福建林业科技, 2014, 41(1): 124-128.
- [34] 胡向军, 余东波. 沼液对椴柑生长发育、产量和品质的影响[J]. 中国沼气, 2008, 26(3): 29-33.
- [35] 郭双连. 沼气发酵残留物在无公害水果蔬菜生产中的研究[D]. 昆明: 云南师范大学, 2005.
- [36] 刘倩雯, 王渭玲, 徐福利, 等. 施用沼肥和发酵豆粕对黄土高原山地梨枣产量和品质的影响[J]. 西北林学院学报, 2012, 27(4): 39-42.
- [37] 王伟楠, 任广鑫, 杨改河, 等. 叶面喷施沼肥对杏树果实品质的影响研究[J]. 西北农业学报, 2008, 17(2): 132-136.
- [38] 刘芳, 李泽碧, 苏胜齐, 等. 沼液与化肥配施对葡萄产量和品质的影响[J]. 中国沼气, 2009, 27(2): 21-23.
- [39] 李建平, 王梅. 石榴施沼液的肥效实验[J]. 中国沼气, 2002, 20(2): 41-43.
- [40] 赵玲, 刘荣厚, 栾敬德, 等. 厌氧发酵残余物对草莓产量、品质及生理效应影响的研究[J]. 中国沼气, 2005, 23(2): 20-22.
- [41] 邱凌. 庭院沼气高效生产与利用[M]. 北京: 科学技术文献出版社, 2007, 319.
- [42] 张无敌, 刘士清, 赖建华, 等. 厌氧消化残留物在防治农作物病虫害中的作用[J]. 中国沼气, 1996, 14(1): 6-9.
- [43] 谢忠, 石青峰. 早中熟苹果品种全生育期施用沼肥的效果[J]. 落叶果树, 2007(1): 33-34.
- [44] 丁学仁, 黄素琴, 刘国华, 等. 硒砂瓜施用沼肥试验效果观察[J]. 中国沼气, 2013, 31(2): 48-54.
- [45] 陶世洪. 沼肥对早熟蜜柑土壤肥力及产量品质的影响[J]. 广西农业科学, 2005, 36(4): 344-346.
- [46] 张银祥. 施用沼肥对苹果树生长发育的影响[J]. 中国沼气, 2010, 28(5): 39-40.
- [47] 张无敌, 尹芳, 刘士清, 等. 沼肥提高柿果实品质和改良果园土壤试验[J]. 中国果树, 2006, (4): 32-34.
- [48] 虞方伯, 何健, 管晓进, 等. 沼气发酵残余物的综合利用及其在现代农业生产中的意义[C]. 王锡吾, 沼气产业化发展研讨会论文集选编, 2005: 58-62.
- [49] 杨云霞, 宋聚波, 刘安琴, 等. 沼肥在草莓种植上的应用试验[J]. 贵州农业科学, 2005, 33(6): 79.
- [50] Rivard C J, Rodriguez J B, Nagle N J. Anaerobic digestion of municipal solid waste: utility of process residues as a soil amendment [J]. *Biochemistry and Biotechnology*, 1995, 52: 125-135.
- [51] 钱清华, 林聪, 王金花, 等. 沼液对苹果品质及土壤肥效的影响[J]. 可再生能源, 2005, 4(122): 34-36.
- [52] Choke Milked, Suchart Jiraporn charoen, Nirandorn Potkanond. Utilization of fermented slurry as bio-fertilizer [Z]. Thailand Proceeding Bio-digester Workshop 2002.
- [53] 牛伟, 鹿茸, 田琴, 等. 长期施沼肥对果园土壤肥力和苹果品质的影响研究[J]. 中国农学通报, 2014, 30(10): 243-246.
- [54] 高刘, 余雪标, 李然, 等. 沼液配方肥对香蕉产量、品质及香蕉园土壤质量的影响[J]. 热带生物学报, 2017, 8(2): 209-215.
- [55] 张有富, 张爱萍, 马正龙, 等. 沼肥对设施红地球葡萄光合特性及品质的影响[J]. 经济林研究, 2017, 35(3): 140-146.
- [56] 李波, 高长乐, 周正宾, 等. 肥料中氮磷和有机质对土壤重金属行为的影响及在土壤治污中的应用[J]. 农业环境保护, 2000, 19(6): 375-377.
- [57] 姜文腾, 林聪. 大中型沼气工程厌氧残留物综合利用探究[J]. 猪业科学, 2008(4): 84-87.
- [58] 刘长喜. 沼肥和化肥合理配合施用技术的研究[J]. 中国沼气, 1986, 16(4): 8-12.