

# Advances in Application of Biogas Slurry as Nutrient Solution Used in Cultivating Plant

Qun Kang, Zuyao Zhang, Qin Gong, Ling Wang, Lifang Fan, Ke Li, Zhaohua Li\*

Faculty of Resources and Environmental Science, Hubei University, Wuhan Hubei  
Email: \*zli@hubu.edu.cn

Received: Nov. 16<sup>th</sup>, 2019; accepted: Dec. 3<sup>rd</sup>, 2019; published: Dec. 10<sup>th</sup>, 2019

---

## Abstract

This paper describes the research status of biogas slurry used in water culture plant nutrient solution. The main plants used in water culture experiment are lettuce, water celery, rape, water spinach, melon, watercress and chlorella algae. They all can grow in diluted biogas slurry, and the dilution factor has a greater impact on the growth of these plants; adding fertilizer, conventional nutrient solution, iron, phosphorus, and potassium to the diluted biogas slurry can greatly increase the growth of plants and quality; after the biogas slurry is deaminated before being used in hydroponic plants, the dilution factor of the biogas slurry can be greatly reduced, and the NO<sub>3</sub>-N content of the plant species is reduced. Based on the literature review, the hotspots of biogas slurry hydroponics research are also proposed. This paper can provide a reference for the research on biogas slurry resource utilization.

## Keywords

Biogas Slurry, Hydroponics, Nutrient Solution, Progress

---

# 沼液用于水培营养液的研究进展

康 群, 张祖尧, 公 勤, 王 玲, 樊丽芳, 李 可, 李兆华\*

湖北大学资源环境学院, 湖北 武汉  
Email: \*zli@hubu.edu.cn

收稿日期: 2019年11月16日; 录用日期: 2019年12月3日; 发布日期: 2019年12月10日

---

\*通讯作者。

文章引用: 康群, 张祖尧, 公勤, 王玲, 樊丽芳, 李可, 李兆华. 沼液用于水培营养液的研究进展[J]. 环境保护前沿, 2019, 9(6): 810-816. DOI: 10.12677/aep.2019.96106

## 摘要

本文阐述了沼液用于水培植物营养液的研究现状,目前经采用沼液进行水培实验研究的植物主要有生菜、水芹、油菜, 蕹菜、甜瓜、西洋菜和小球藻等, 它们均可以在稀释沼液中生长, 且稀释倍数对这些植物的生长情况有较大的影响; 在稀释沼液中添加化肥、常规营养液、铁、磷、钾, 可以大大提高植物的生长量和品质; 沼液经过前处理脱氨后, 再用于水培植物, 可以大大减少沼液稀释倍数, 且减少了植物中 $\text{NO}_3\text{-N}$ 的含量。在综述文献的基础上还提出了沼液水培研究的热点方向。本文可为沼液资源化利用研究提供参考。

## 关键词

沼液, 水培, 营养液, 进展

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 前言

沼液速效营养能力强, 养分可利用率高, 是一种传统的优质有机肥料。然而随着中国规模化猪场和沼气工程的发展, 沼液的数量巨大, 大型养猪场周围的土地使用空间有限。剩余沼气在中国各地区造成了较大的环境负荷, 威胁着食品安全和人类健康。传统的土地消纳和现代的污水治理工艺都不能全面解决这一问题。将沼液作为营养液用于无土栽培中, 不仅可以解决沼液污染问题, 资源化利用沼液, 还可以将无机耗能型无土栽培技术转变为有机生态型无土栽培技术。将沼液用作无土栽培基液进行绿色无土栽培, 产出好, 技术简单, 便于推广, 可降低生产成本, 减少污染物排放, 从而实现畜禽养殖的可持续发展。

沼液是畜禽粪便厌氧发酵后的残留液, 其中包含的矿物质丰富[1]。沼液本身是一种植物营养的优质来源, 能够提高土壤质量[2] [3]。沼液是腐熟的速效水肥, 含有丰富的有机质、腐植酸、N、P、K 等营养成分及氨基酸、维生素、酶、微量元素等生命活性物质, 而且这些营养物质可利用率高, 能迅速被作物吸收利用。沼液虽然在产生甲烷和二氧化碳的同时损失了大量的碳, 但是沼液中仍保留了 90% 的氮元素。统计测定结果显示, 沼液中含全氮(TN)的质量分数为 0.026%~0.081%, 其中氨氮( $\text{NH}_3\text{-N}$ )占全氮量的 60%~75%, 其次为有机氮; 全磷(TP)含量为 0.02%~0.07%, 全钾含量在 0.047%~1.40% 范围内。另外, 沼液中还含有丰富的微量元素(如铜、铁、锌、硼等)、多种植物生长素(如赤霉素、吲哚乙酸等)、B 族维生素和某些抗菌素等[4] [5] [6]。

## 2. 沼液用于无土栽培营养液的机理研究进展

把沼液作为肥料应用蔬菜生产, 前人已作过一些试验探讨[7] [8] [9] [10], 具有增产提高质量的作用。沼液用于水培蔬菜与作物, 近几年来有相关报道。

周彦峰等人[11]分析了沼液用于无土栽培的营养机理。一是沼液含有丰富的植物生长所需的营养物质, 氮、磷、钾被保存于发酵残留物中, 而且它们在发酵的过程中被转化为简单的化合物, 更易于被动物、植物吸收利用。如有机废弃物中的有机氮素, 一部分被转化为氨氮的形式, 氨氮相当于速效氮, 沼液中

的粗纤维含量比有机废弃物中的低，而其粗蛋白含量则高于有机废弃物。用于沼气发酵的有机废弃物通常为人畜粪便和植物废弃茎叶等，这些原料的成分大都为纤维素、蛋白质和脂肪等。通过沼气发酵后，其发酵残留物保留了丰富的粗蛋白、粗纤维和粗脂肪等营养成分[12]。另一部分，则参与代谢或者分解为氨基氮——游离氨基酸的形式。氨基氮是理想的氮肥，而氨基酸则是饲料的最佳氮素来源。二是沼液中含有大量的生物活性物质，包括各种水解酶类，B族维生素。腐殖酸，沼气发酵残留物中的B族维生素能促进植物和动物的生长发育，提高动植物抵御病虫害的抗逆性[13]。三是还含有丰富矿物质元素。

### 3. 沼液作为水培植物营养液的前处理方法研究进展

2017年王文超[14]通过脱氨工艺处理，沼液氨氮有较明显的脱除效果，可达到92.2%，氨氮大幅脱除降低沼液对植物的生理毒性。原沼液水培生菜至少需要稀释50倍才能保证生菜正常生长，而经过脱氨后的沼液只需要稀释5倍即可实现生菜水培的良好长势，将脱氨沼液稀释5~30倍用于生菜水培，生菜的相对生长量均高于在营养液中水培，其中5倍稀释水培的生菜相对生长量最高，可达到150%。在生态指标方面，不同倍数稀释的脱氨沼液水培生菜的叶、植株的长势优于营养液水培生菜，而营养液水培生菜的根系活力比脱氨沼液强，但差异不明显。在品质指标方面，脱氨沼液水培生菜的VC、还原糖、叶绿素和类胡萝卜素的含量与营养液水培生菜相当，甚至有些稀释倍数的脱氨沼液水培生菜含量更高。而在生菜的NO<sub>3</sub>-N含量上，脱氨沼液水培生菜体现出明显的优势，5倍稀释脱氨沼液的水培生菜中NO<sub>3</sub>-N含量仅为13 mg/Kg，约为营养液水培生菜的4.6%，极大的提高了水培生菜的品质。

梁飞虹等人[15]对沼液进行脱氨预处理后再稀释5~30倍水培生菜，在培养高品质生菜的同时净化沼液，净化后的沼液应用于农田灌溉。实验证明，稀释5~10倍水培生菜，其生长量和类胡萝卜素明显优于营养液水培；综合沼液净化效果和节约用水方面，稀释5~15倍最优。

周彦峰等人[11]认为EC值控制在2.0~4.0 ms/cm之间，并用硝酸或磷酸来调节沼液的pH值到5.8~6.5之间，可以促进多数作物的生长发育。沼液应事先在贮液池进行30天的沤肥，才有利于养分转化，消除沼液中的还原物质，并在栽培槽进口处设置增氧机增氧，是补充沼液因厌氧发酵而产生缺氧的有效方法。加入螯合态铁以保持沼液中一定的铁浓度是解决沼液缺铁行之有效的办法。

### 4. 沼液水培蔬菜的实验品种及方法研究进展

水培是无土栽培法的一种，是植物大部分或者全部根系直接生长在营养液液层中的方式。水培作为一种新型环保的现代化蔬菜栽培技术，有效解决了蔬菜等农作物生产受土壤资源短缺和自然条件的制约。水培营养液，从早期的格里克营养液到Hoagland试剂，日本山崎营养液，国内外多将化学合成液作为营养液，配制化学合成液的程序繁琐，一般群众难以学会并娴熟应用。而我国目前常用的无机耗能型无土栽培方式，成本大、能耗高，若管理不当，还会出现产出作物中的硝酸盐积累，产品品质和风味降低等风险[16]。

#### 4.1. 沼液水培芹菜实验进展

芹菜是家常蔬菜，因其营养丰富，而且对高血脂、高血压等等多种疾病具有辅助治疗作用而深受人们的青睐。芹菜分为水芹和旱芹。《本草纲目》记载“水芹生江湖，陂泽之涯，旱芹生平地……”。水芹[*Oenanthe javanica*]为伞形花科水芹属多年生草本植物，又名河芹，水英，是长江中下游地区常见的水生蔬菜，也是一种特产中药植物[17]。它主要生长在潮湿的地方，比如池沼边、河边和水田，在南方多见。原产亚洲东部，分布于中国长江流域、日本北海道、印度南部、缅甸、越南、马来亚、爪哇及菲律宾等地。中国自古食用水芹，两千多年前的《吕氏春秋》中称，“云梦之芹”是菜中的上品。水芹营养成分

丰富，以嫩茎及叶柄供食，有退热解毒和降血压的功效。嫩茎及叶柄质鲜嫩，清香爽口，可生拌或炒食水芹既可作为蔬菜。煮食、煎炒、做汤，又可腌制、做泡菜，又具有保健功能，它味甘辛性平，可除烦解热、止血养精、清胃涤热增加食欲、补心益气、养神益力[18]。水芹的营养价值和药用价值很高，上市时的秋冬季节，市场上的时令蔬菜较少，又逢春节等传统节日，因此具有很好的市场需求。

用沼液水培水芹的研究开始于近几年。2014年张玲玲等[19]进行了用稀释沼液培育水芹的实验，发现浓度较低的沼液水培的芹菜植株矮小但根系发达；浓度较高沼液水培的芹菜出现烂根、叶片发黄的情况。随沼液浓度的降低，水培芹菜的生物增长量呈现出先增加后减小的趋势。2009年张玲玲等通过生物浮床工艺，将芹菜水培于不同浓度沼液中，研究其生长特性及其对污染物的去除能力，得出用沼液水培芹菜的最佳稀释倍。经过80d的种植，稀释30倍的沼液水培的芹菜生物增长量最大；稀释30~40倍沼液水培芹菜所取得的环境效益和经济效益较高[20]。赵莉等人[21]用沼液代替化肥水培水芹，设置四个浓度梯度，对比于单施化肥，施用沼液明显提高了水芹产量，降低了硝酸盐含量，提高水芹的品质，其中以沼液替代化肥50%为最佳。

#### 4.2. 沼液水培生菜实验进展

生菜(*Lactuca sativa*)，菊科莴苣属[22]，是叶用莴苣的俗称，一年或两年生草本植物。原产于地中海盆地东部和亚洲西部。2017年杨鑫[23]研以香港玻璃脆散叶生菜为试验材料，研究了在深液流水培下，水培生菜生长特征及品质、水分利用率、矿质元素动态吸收、光合和叶绿素荧光特性等指标与沼液浓度及营养液浓度的相关性。

2008年岳胜兵[24]进行了沼液作为水培生菜营养液的研究，发现沼液中的营养成分基本可以满足生菜的生长发育的需要；稀释倍数10倍时产量最高，栽培后期沼液浓度可适当加大。在沼液中加入铁时生菜产量增幅为75.18%，在沼液中加入P、K的增幅分别为39.37%、40.63%。还在沼液加入部分营养液以及化肥，进行了实验，产量有不同程度的提高。用沼液水培的硝酸盐含量比营养液对照要低。

林阿典[25]对猪场沼液配制营养液水培生菜进行了初步研究，利用猪场沼液配制营养液并与常规的营养液比较进行生菜水培，结果表明，供试的3种浓度沼液配制营养液均可进行生菜水培，但植株地上部生物量均低于常规营养液处理，常规营养液处理与兑水1:7处理的单株生物量无差异，但大于兑水1:3和1:11处理。不同浓度沼液处理的生菜VC含量均显著高于营养液处理。

杨丹等人[26]为推广沼液施肥在实验室进行了实验，先喷施氨氮浓度为250ppm的沼液，育苗67天后，换浓度为10%的沼液水培生菜，之后再补充微量的镁元素，发现沼液水培生长的生菜与营养液相当。苏有勇[27]的试验表明，水培蔬菜时沼肥部分替代化肥可以提高产量、还原糖、总糖、维生素C等的含量，并且能大幅度降低蔬菜中硝酸盐的含量，不会导致其在人体内富集，转化为致癌的亚硝酸盐。

#### 4.3. 沼液水培蕹菜实验进展

蕹菜(*Ipomoea aquatica* Forsk)，又名空心菜，竹叶菜、通心菜[28]，味道鲜美营养价值高。2018年王文琳等[29]等研究了沼液对水培蕹菜生长和光合特性的影响，在室内模拟条件下，比较用浓度为0.12%~12.00%的沼液处理对水培蕹菜生长、光合特性等的影响。结果表明，施加0.12%~0.60%沼液对蕹菜的再生率和生物量累积有促进作用，其中0.24%沼液处理的蕹菜干生物量相对最高。

2016年刘永霞等[30]研究了资源化利用鸡粪沼液水培空心菜的效果，将沼液稀释成不同倍数，分别研究其对沼液中氨氮、总氮、总磷、化学需氧量的削减能力及沼液浓度对水培空心菜生长的影响。鸡粪沼液中添加 $\text{KH}_2\text{PO}_4$ 和 $\text{KNO}_3$ ，水培的空心菜植株高度、地上部分重和植株全重等指标均表现较优，钾可能为空心菜生长的限制因子。

2013 年王红玉等[31]研究了不同浓度鸡粪沼液对日光温室漂浮式栽培空心菜的生长和品质影响。结果表明: 鸡粪沼液添加浓度在 3%~5% 范围内能显著提高蕹菜叶绿素含量、生长量和维生素 C 含量, 而亚硝酸盐含量显著下降。所有组的蕹菜中亚硝酸盐含量与我国无公害蔬菜亚硝酸盐含量限量标准相比, 均小于该标准。

2013 年孙其林等[32]研究了在池塘中利用沼液水培空心菜的技术。2009 年林阿典[33]采用猪场沼液作为蕹菜水培营养液的研究。结果表明, 蕹菜用沼液作为营养液水培, 在 3 个月的种植期间内, 兑水 1:3、1:5 沼液处理总收获量分别为 11.59、10.14 kg, 但均显著低于常规营养液处理。

#### 4.4. 沼液水培小白菜实验进展

小白菜(*Brassica rapa*), 十字花科, 二年生草本植物, 别名青菜、油菜、鸡毛菜等。黄栋栋等人[34]通过沼液和化学肥料培育小白菜的正交对比试验, 从产量及品质方面比较, 发现小白菜的品质指标硝氮、维生素 C、可溶性糖、叶绿素含量没有下降, 铁、锌、铜、锰含量显著提高, 用沼液水培小白菜可以提高其产量及品质。张进等人[35]用沼液和化肥组合水培小白菜, 在提高小白菜产量同时其品质也没有下降。

乔一飞等人[36]用不同浓度沼液水培油菜(小白菜), 显著提高了其产量、维生素 C、还原糖, 同时降低了硝酸盐和总酸含量。

#### 4.5. 沼液水培蒜黄实验进展

蒜黄(*Allium sativum*), 大蒜幼苗, 百合科葱属。张露等[37]在稀释 20 倍猪沼液和牛沼液中分别加入 1/4 园试配方配成平衡营养液, 进行水培蒜苗, 以 1/4 园试配方为对照进行实验。发现在提高蒜黄产量方面, 沼液稀释液、基于沼液稀释液的平衡营养液的效果优于无机营养配方。

#### 4.6. 沼液水培甜瓜实验进展

甜瓜(*Cucumis melo*), 中文学名香瓜, 一年生匍匐或攀援草本。林碧英[38]对甜瓜进行了沼液与土壤栽培对比试验。调整沼液 pH 值为 6.5~7.0, 苗期电导率值在 1.2 mS/cm, 花果期电导率 2.2~2.4 mS/cm, 沼液稀释后浓度在 30%~60%。营养液深度为 3.5~5 cm, 随着植株生长降低水位, 最后保持 3 cm。并 2 h 循环一次增加溶解氧。试验结果表明, 沼液水培的香瓜其植株高度、开展度、根茎直径与土壤对照 CK 相比都增高了, 产量分别提高了 87.% 和 64.5%。单果质量也大, 沼液水培效果显著。在种植过程中还有效地避免了甜瓜土传病害如枯萎病的发生, 且其它疾病如蔓枯病、白粉病和病毒病发病率也明显降低。

#### 4.7. 沼液水培西洋菜实验进展

西洋菜又名水菜、豆瓣菜、水田芥(*Nasturtium officinale*)等。为十字花科豆瓣菜属的植物豆瓣菜的全草[39] [40] [41]。西洋菜为多年生挺水草本植物[42], 为匍匐茎或者浮水茎, 株高一般在 20 到 40 厘米之间, 多分枝, 不定根长在节上。适合生长的温度范围为 18~22℃, 对短期高温或低温的适应能力很强[43]。西洋菜有在节上萌发不定根的习性, 其扩种繁殖一般以无性繁殖为主。目前西洋菜的有的品种可以开花结籽, 采用种子进行繁殖其方便性大大增强了, 也有利于幼苗的成长, 幼苗活力得到了提高[44]。

何江等[45]用养猪废水经三级沼气池处理后调节池内的沼液盆栽西洋菜, 研究西洋菜对养猪场沼气池出水的净化效果, 发现沼液里的养分为西洋菜的迅速生长提供了有利条件, 西洋菜耐污净化能力强, 能够适应浓度较高的沼液, 在沼液中生长良好, 利用沼液培育西洋菜可行。

#### 4.8. 沼液培养小球藻实验进展

朱联东等[46]以畜禽粪便堆肥作为替代营养源, 对小球藻(*Chlorella pyrenoidosa*)的培养进行了研究。

制备了不同营养浓度的五种培养基。对藻类生长和脂肪生产的特点进行了检测分析。结果表明,不同培养基的生长速率、生物量和脂类生产率不同。随着初始营养浓度的降低,小球藻脂肪含量增加。朱联东等[47]还对利用畜禽粪便堆肥进行微藻培养以连续生产高值、生物柴油、沼气等多种生物制品进行了可行性评价,并提出了实现这一目标的可行性框架,探讨了面临的主要挑战。

## 5. 结论

以上实验结果及分析表明:

1) 生菜、水芹、油菜, 蕹菜、甜瓜、西洋菜和小球藻可以在稀释沼液中生长; 稀释倍数对这些植物的生长情况有较大的影响;

2) 在稀释沼液中添加化肥、常规营养液、铁、磷、钾, 可以大大提高植物的生长量和品质;

3) 沼液经过前处理脱氨后, 再用于水培植物, 可以大大减少沼液稀释倍数, 且减少了植物中  $\text{NO}_3\text{-N}$  的含量;

今后沼液水培研究的热点方向是: 沼液脱氨、脱毒以及稳定化预处理方法及工艺; 沼液水培的营养机理; 植物在沼液水培过程受到的环境胁迫与生理反应机理; 沼液水培配方研究。

## 参考文献

- [1] 张剑波, 陶炜煜. 2017 年国内生猪市场形势分析及 2018 年展望[J]. 农业展望, 2018, 14(5): 4-8.
- [2] 李兆华, 赵丽娅. 湖北农村环境保护对策与技术[M]. 武汉: 湖北科学技术出版社, 2014: 16-28.
- [3] 李水霞. 低碳经济背景下畜牧业发展中强化养殖污染治理的重要性分析[J]. 中国畜牧兽医文摘, 2018, 34(4): 22-23.
- [4] Albuquerque, J.A., de la Fuente, C. and Bernal, M.P. (2012) Chemical Properties of Anaerobic Digestates Affecting C and N Dynamics in Amended Soils. *Agriculture Ecosystem Environment*, **160**, 15-22. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.03.007>
- [5] Torrijos, M. (2016) State of Development of Biogas Production in Europe. *Procedia Environmental Sciences*, **35**, 881-889. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2016.07.043>
- [6] 徐慧, 韩智勇, 吴进, 施国中. 中德沼气工程发展过程比较分析[J]. 中国沼气, 2018, 36(4): 101-108.
- [7] 李式军, 高丽红, 庄仲连, 等. 我国无土栽培研究新技术新成果及发展动向[J]. 长江蔬菜, 1997(5): 1-5+40.
- [8] 李梅勇. 我国蔬菜营养液膜栽培技术新发展[J]. 长江蔬菜, 1998(2): 1-3.
- [9] 卫杰, 郑光华, 刘伟. 有机生态型无土栽培技术[J]. 中国蔬菜, 1997(3): 53-54.
- [10] 陶正平. 国内外蔬菜无土栽培研究与发展[J]. 吉林蔬菜, 1993(4): 26-28.
- [11] 周彦峰, 邱凌, 李自林, 等. 沼液用于无土栽培的营养机理与技术优化[J]. 农机化研究, 2013, 35(5): 224-227.
- [12] Haga, K. (1999) Animal Waste Problems and Their Solution from the Technological Point of View in Japan. *Japan Agricultural Research Quarterly*, **40**, 273. [https://doi.org/10.1016/S0140-6701\(99\)98390-X](https://doi.org/10.1016/S0140-6701(99)98390-X)
- [13] Banik, S. and Nandi, R. (2004) Effect of Supplementation of Rice Straw with Biogas Residual Slurry Manure on the Yield. Protein and Mineral Contents of Oyster Mushroom. *Industrial Crops and Products*, **20**, 311-319. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2003.11.003>
- [14] 王文超. 外源吸收剂对沼液  $\text{CO}_2$  吸收及生态毒性的影响[D]: [硕士学位论文]. 武汉: 华中农业大学, 2017.
- [15] 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.
- [16] 蒋卫杰, 郑光华, 汪浩, 等. 有机生态型无土栽培技术及其营养生理基础[J]. 园艺学报, 1996, 23(2): 139-144.
- [17] 黄正明, 杨新波, 曹文斌. 水芹的本草考证[J]. 中草药, 2001, 32(1): 13-14.
- [18] 谢碧霞, 张美琼. 野菜植物资源开发与利用学[M]. 北京: 中国林业出版社, 1995: 169-187.
- [19] 张玲玲. 生物浮岛技术用于养猪场沼液水培的试验研究[D]: [硕士学位论文]. 武汉: 湖北大学, 2012.
- [20] 张玲玲, 李兆华, 刘化吉, 等. 水培芹菜净化不同浓度沼液的试验研究[J]. 长江流域资源与环境, 2011, 20(z1):

154-157.

- [21] 赵莉, 于建光, 常志洲, 等. 施用沼液对水芹产量及品质的影响[J]. 土壤, 2014, 46(1): 94-99.
- [22] 张伟娟, 郭文忠, 王晓晶, 李灵芝, 李海平, 陈晓丽. 营养液供液高度对水培生菜生长及矿质元素吸收的影响[J]. 中国农业气象, 2018, 39(9): 41-47.
- [23] 杨鑫. 沼液对水培生菜生理生长及营养液特性的影响[D]: [硕士学位论文]. 咸阳: 西北农林科技大学, 2017.
- [24] 岳胜兵. 沼液作为水培生菜营养液的研究[D]: [硕士学位论文]. 武汉: 华中农业大学, 2008.
- [25] 林阿典. 猪场沼液配制营养液水培生菜的研究初探[C]//中国畜牧兽医学会家畜生态学分会. 中国畜牧兽医学会家畜生态学分会第七届全国代表大会暨学术研讨会论文集. 中国畜牧兽医学会家畜生态学分会, 2008: 6.
- [26] 杨丹, 刘静, 刘程, 等. 浓缩沼液在无土栽培生菜上应用研究[J]. 中国沼气, 2016, 34(5): 87-90.
- [27] 苏有勇, 卢怡, 施卫省. 沼肥对无土栽培生菜产量和品质的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2008(1): 60-62+72.
- [28] 李艳蕾, 李兆华, 姜应和, 宛晶, 赵丽娅. 富营养化水体中蔬菜生理指标的变化研究[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(7): 4129-4131.
- [29] 王文琳, 周长芳, 周屿, 等. 沼液对水培蔬菜生长和光合特性的影响[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(12): 114-117.
- [30] 刘永霞, 李裕荣, 杨梅, 等. 水培空心菜净化和资源化利用鸡粪沼液研究[J]. 南方农业学报, 2016, 47(8): 1297-1302.
- [31] 王红玉, 徐奕琳, 周士力, 等. 不同浓度沼液对日光温室漂浮式栽培空心菜(*Ipomoea aquatica*)生长和品质的影响[J]. 沈阳农业大学学报, 2013, 44(5): 650-655.
- [32] 孙其林, 齐琳, 狄蕊, 等. 池塘利用沼液水培空心菜技术[J]. 长江蔬菜, 2013(18): 174-175.
- [33] 林阿典. 猪场沼液作为蔬菜水培营养液的研究[C]//中国农业科学院、山东省寿光市人民政府. 设施园艺研究新进展——2009中国·寿光国际设施园艺高层学术论坛论文集. 中国农业科学院、山东省寿光市人民政府, 2009: 5.
- [34] 黄栋栋, 王俞薇, 王建波, 等. 施用沼液对无土栽培小白菜产量及品质的影响[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(4): 1782-1785.
- [35] 张进, 张妙仙, 单胜道, 等. 沼液对无土栽培小白菜产量及品质的影响初探[J]. 科技通报, 2010, 26(3): 407-412.
- [36] 乔一飞, 洪坚平. 沼液配施对水培油菜产量及品质的影响[J]. 山西农业科学, 2008, 36(6): 53-55.
- [37] 张露, 沈祥军, 孙周平. 不同营养液对水培蒜黄产量和品质的影响[J]. 沈阳农业大学学报, 2013, 44(5): 700-703.
- [38] 林碧英. 甜瓜无土(沼液和基质)栽培与土培比较试验[J]. 长江蔬菜, 2009(20): 52-53.
- [39] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志[M]. 北京: 科技出版社, 1999: 11-312.
- [40] 江苏新医学院. 中药大词典[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2004: 852.
- [41] 徐炳声. 海植物志[M]. 上海: 上海科学技术文献出版社, 1999: 40.
- [42] 周太炎, 郭荣麟, 蓝永珍, 等. 中国植物志十字花科(33卷)[M]. 北京: 科学出版社, 1987: 311-312.
- [43] 黄道明, 惠端. 结籽的百色西洋菜的栽培与采收技术[J]. 广西园艺, 2005, 16(2): 49-50.
- [44] 覃晓华. 西洋菜反季节栽培技术[J]. 农家之友, 2001(6): 14.
- [45] 何江, 利锋, 诸振兵, 张业基, 梁桂生. 西洋菜净化养猪废水研究[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(23): 11115-11116.
- [46] Zhu, L.D., Li, Z.H., Guo D.B., et al. (2017) Cultivation of *Chlorella* sp. with Livestock Waste Compost for Lipid Production. *Bioresource Technology*, **223**, 296-300. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.09.094>
- [47] Zhu, L.D. and Hiltunen, E. (2016) Application of Livestock Waste Compost to Cultivate Microalgae for Bioproducts Production: A Feasible Framework. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **54**, 1285-1290. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.093>