

刘海琴, 韩士群, 严少华, 等. 太湖蓝藻厌氧发酵后沼液的肥效[J]. 江苏农业学报, 2011, 27(4): 770-774.

太湖蓝藻厌氧发酵后沼液的肥效

刘海琴, 韩士群, 严少华, 宋伟, 黄建萍

(江苏省农业科学院农业资源与环境研究所, 江苏 南京 200014)

摘要: 采用田间小区试验, 太湖蓝藻发酵后的沼液作有机肥, 以化肥氮肥为对照, 研究施用蓝藻沼液对甘蓝、白菜、辣椒的产量和维生素 C、亚硝酸盐、重金属含量及土壤肥力的影响。结果表明: 施用蓝藻发酵沼液后, 甘蓝、辣椒、白菜分别增产 9.96%、19.28%、13.51%, 对甘蓝、辣椒、白菜有增产作用; 甘蓝、辣椒、白菜的维生素 C 含量分别提高 16.63%、20.90%、29.26%, 亚硝酸盐含量分别降低了 10.34%、9.41%、30.79%; 与土壤本底值相比, 土壤有机质含量增加 4.72%~14.38%, 有效磷含量增加 2.49%~10.91%; 甘蓝地土壤及甘蓝植株中重金属含量均在限量范围内。

关键词: 蓝藻沼液; 蔬菜; 产量; 品质; 土壤肥力; 重金属

中图分类号: X71 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2011)04-0770-05

Fertilizer efficiency of Taihu lake blue-green algae slurry after anaerobic fermentation

LIU Hai-qin, HAN Shi-qun, YAN Shao-hua, SONG Wei, HUANG Jian-ping

(*Institute of Agricultural Resource and Environmental Sciences, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China*)

Abstract: The field plot experiment was conducted to study the effect of Taihu lake blue-green algae after anaerobic fermentation on biomass, vitamin C content, nitrite content, heavy metal contents and soil fertility of cabbage, Chinese cabbage and pepper, in comparison with chemical fertilizer. The results showed that in slurry applied fields, the biomasses of cabbage, pepper and Chinese cabbage were increased by 9.96%, 19.28% and 13.51%, respectively. Meanwhile, the vitamin C contents of cabbage, pepper and Chinese cabbage were raised by 16.63%, 20.90% and 29.26%, respectively. The nitrite contents were decreased by 10.34%, 9.41% and 30.79%, respectively. Compared with soil background value, soil organic matter contents were increased by 4.72%–14.38%, and available phosphorus contents were increased by 2.49%–10.91%. The heavy metal contents in soil and body of cabbage were lower than the national standards.

Key words: blue-green algae slurry; vegetable; biomass; quality; soil fertility; heavy metal

近年来太湖水体环境的富营养化程度日益加重,

2007 年蓝藻大面积暴发, 造成无锡市市区生活用水危机^[1]。目前, 机械和人工打捞蓝藻已经成为控制蓝藻水华行之有效的措施。在蓝藻暴发期每年都有几十万吨的藻水被打捞出水体。由于太湖蓝藻含有藻毒素, 难以直接作为肥料和饲料, 也难以采用掩埋等常规方法处理, 打捞出来的蓝藻严重污染了环境。处理打捞蓝藻最有效的措施是资源化利用, 韩士群等^[2,4]研发了厌氧发酵产沼气和沼肥的蓝藻无害化处理资源化利用技术, 并开展了工程示范和应用推广。该技

收稿日期: 2010-10-14

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2009BAC52B04); 江苏省科技支撑——社会发展项目(BE2008608)

作者简介: 刘海琴(1971-), 女, 江苏南京人, 学士, 副研究员, 主要从事水环境污染治理研究。(Tel) 025-84391231; (E-mail) liuhaiqin616@yahoo.com.cn

通讯作者: 韩士群, (Tel) 025-84390241; (E-mail) shqunh@yahoo.com.cn

术已经成为处理太湖打捞蓝藻的主要措施。

蓝藻厌氧发酵产沼气过程中产生了大量的沼液和沼渣,因此有必要开展蓝藻沼液、沼渣农业利用的研究。虽然国内外关于一般沼液、沼渣的农业利用的研究很多^[5-7],但是蓝藻发酵的沼液有其自身的特殊性。有关蓝藻沼液沼渣的农业利用虽有一些报道^[8-9],但主要停留在盆栽试验阶段。本研究拟采用田间小区试验,试图探明蓝藻沼液对甘蓝、辣椒、白菜的产量、部分品质及土壤肥力的影响。

1 材料与方 法

1.1 水华蓝藻及沼液

供试蓝藻取自江苏无锡太湖,蓝藻经厌氧发酵后沼液中的总氮(TN)含量为1.82 g/L、总磷(TP)含量为0.42 g/L、钾含量为0.43 g/L,重金属砷、汞、铅、镉、铬含量分别为0.140 mg/kg、0.007 mg/kg、0.160 mg/kg、0.015 mg/kg、0.022 mg/kg。

1.2 供试土壤

供试土壤为大棚菜园土,一般冬春季覆盖农膜,夏秋季敞棚。试验期间为敞棚,土壤主要理化性质:有机质40.89 g/kg、总氮3.28 g/kg、有效磷57.00 mg/kg、速效钾190.50 mg/kg、pH值6.28。

1.3 供试蔬菜

供试蔬菜为甘蓝(夏秋绿王)、辣椒(苏椒二号)和白菜(丰抗78)。

表1 试验各处理的肥料施用量

Table 1 Application rates of fertilizers used in the treatments

处 理	甘 蓝		辣 椒		白 菜	
	小区面积(m ²)	小区施用量(kg)	小区面积(m ²)	小区施用量(kg)	小区面积(m ²)	小区施用量(kg)
沼液	11.4	113.00	12.0	64.00	8.0	68.00
化肥(对照)	11.4	0.45	12.0	0.25	8.0	0.27

甘蓝按产量为60 000 kg/hm²,每生产1 000 kg甘蓝需氮3.00 kg计算小区施肥量;辣椒按产量为30 000 kg/hm²,每生产1 000 kg辣椒需氮3.18 kg计算小区施肥量;白菜按产量为60 000 kg/hm²,每生产1 000 kg白菜需氮2.60 kg计算小区施肥量。

表2 不同处理对蔬菜产量的影响

Table 2 Effects of different fertilizer applications on the vegetable biomasses

处 理	甘 蓝		辣 椒		白 菜	
	小区产量(kg)	单产(kg/hm ²)	小区产量(kg)	单产(kg/hm ²)	小区产量(kg)	单产(kg/hm ²)
沼液	63.24	55 800.00*	19.80	16 500.00**	69.84	87 300.00*
化肥(对照)	57.51	50 744.10	16.60	13 833.30	61.53	76 912.50

*表示处理间差异达显著水平($P<0.05$);**表示处理间差异达极显著水平($P<0.01$)。

2.2 不同处理对蔬菜维生素C含量的影响

图1显示:甘蓝处理1的V_C含量比处理2提高16.63%,差异显著($P<0.05$);辣椒处理1比处理2提

1.4 试验设计

试验在江苏无锡马山镇蔬菜基地进行。田间小区试验设2个处理:处理1为施用蓝藻沼液;处理2为施用化学肥料,以尿素为主(对照),各处理施用的纯氮量相同,3次重复,小区随机排列,设计方案详见表1。甘蓝、辣椒、白菜均为幼苗长出4片真叶后移栽,移栽后约10 d时施肥,其他管理按常规栽培模式进行。甘蓝施肥后生长50 d收获,辣椒、白菜施肥后生长57 d收获,收获时取蔬菜、土壤样品供分析。

1.5 分析方法

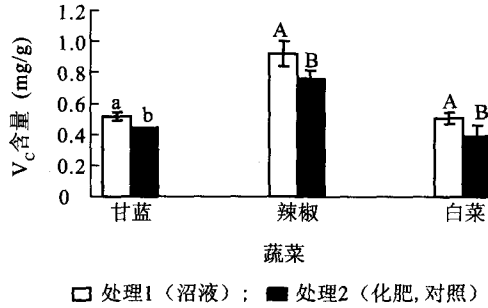
蔬菜可食部分维生素C含量采用2,6-二氯酚酚滴定法测定^[10];亚硝酸盐含量采用盐酸萘乙二胺比色法测定^[11];沼液和土壤的有机质、全氮、有效磷分别采用重铬酸钾外加热法、凯氏半微量滴定法、钼钼蓝比色法测定^[12];砷、汞、铅、镉、铬采用国标^[13-15]测定。

2 结 果

2.1 不同处理对蔬菜产量的影响

由表2可以看出:甘蓝、辣椒、白菜处理1产量均高于处理2,甘蓝增产9.96%、辣椒增产19.28%、白菜增产13.51%;统计结果表明,甘蓝、白菜增产达显著水平,辣椒达极显著水平。说明以蓝藻发酵后沼液作有机肥,对甘蓝、辣椒、白菜均具有增产作用。

高20.90%,差异极显著($P<0.01$);白菜处理1比处理2提高29.26%,差异极显著($P<0.01$)。表明施用蓝藻发酵沼液可显著提高3种蔬菜的V_C含量。



同一蔬菜2个处理间不同大、小写字母分别表示差异达0.01和0.05水平。

图1 两种处理对3种蔬菜V_C含量的影响

Fig.1 Effects of two fertilizer applications on vitamin C contents of three vegetables

2.3 不同处理对蔬菜亚硝酸盐含量的影响

由图2可以看出:甘蓝、辣椒、白菜各处理的亚硝酸盐含量均低于国标中蔬菜亚硝酸盐含量最高限值4.0 mg/kg;甘蓝处理1比处理2降低10.34%,差异显著($P < 0.05$);辣椒处理1比处理2降低9.41%,差异显著($P < 0.05$);白菜处理1比处理2降低30.79%,差异极显著($P < 0.01$)。说明以蓝藻发酵沼液作有机肥施用,可以显著降低甘蓝、辣椒、白菜中的亚硝酸盐含量,从而改善蔬菜品质。

2.4 不同处理对土壤肥力的影响

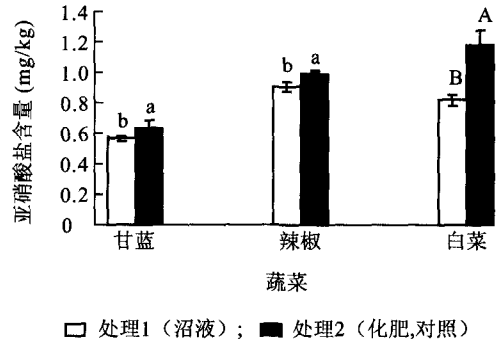
从表3可知,供试大棚土壤偏酸性(pH值6.28),处理1可以提高酸性土壤的酸碱度。与土壤本底值相比,甘蓝处理1的土壤有机质含量提高11.52%,而处理2则下降4.47%;辣椒处理1的土壤有机质含量提高4.72%,处理2下降1.66%;白菜处理1的土壤有机质含量提高14.38%,处理2略有下降;处理1与处理2相比,甘蓝、辣椒、白菜的土壤有机质含量分别提高16.74%、6.49%、15.37%。与土壤全氮本底值(3.28 g/kg)相比,各处理对3种蔬菜土壤全氮的含量影响不大,规律也不明显。与土壤有效磷

表3 各处理对土壤肥力的影响

Table 3 Effects of two fertilizer applications on soil fertilities

处理	pH值			有机质(g/kg)			全氮(g/kg)			有效磷(mg/kg)		
	甘蓝	辣椒	白菜	甘蓝	辣椒	白菜	甘蓝	辣椒	白菜	甘蓝	辣椒	白菜
沼液	6.45	6.43	6.60	45.60	42.82	46.77	3.24	3.20	2.86	58.42	62.33	63.22
化肥(对照)	6.13	6.22	6.20	39.06	40.21	40.54	3.40	3.02	2.92	51.67	53.55	56.11
本底值	6.28	6.28	6.28	40.89	40.89	40.89	3.28	3.28	3.28	57.00	57.00	57.00

本底值(57.00 mg/kg)相比,3种蔬菜处理1的土壤有效磷含量有不同程度的提高,甘蓝、辣椒、白菜的土壤有效磷含量分别提高2.49%、9.35%、10.91%,而处理2均有不同程度的降低,甘蓝、辣椒、白菜的土壤有效磷含量分别降低9.35%、6.05%、1.56%;处理1与处理2相比,甘蓝、辣椒、白菜的土壤有效磷含量分别提高13.06%、16.40%、12.67%(表3)。



同一蔬菜2个处理间不同大、小写字母分别表示差异达0.01和0.05水平。

图2 两种处理对3种蔬菜亚硝酸盐含量的影响

Fig.2 Effects of two fertilizer applications on nitrite contents of three vegetables

2.5 不同处理对甘蓝及甘蓝地土壤重金属含量的影响

土壤中重金属评价标准采用《土壤环境质量标准》中的二级标准^[16],砷、汞、铅、镉、铬标准值含量分别为40.0 mg/kg、0.3 mg/kg、250.0 mg/kg、0.3 mg/kg、150.0 mg/kg。蔬菜评价标准采用国家食品卫生标准中的蔬菜类标准^[17]。由表4可知,无论是施用沼液(处理1)还是施用化肥(处理2),施肥前后土壤中的汞均未检出,施肥后铬含量有些降低,砷、铅、镉的含量都有所提高,但均在国标限量范围内;蔬菜中2种处理均未检测出砷,而汞、铅、镉、铬的含量在2个处理中水平相差不大,均在限量范围内。

表4 不同处理的甘蓝和甘蓝地土壤中重金属含量

Table 4 Effects of two fertilizer applications on the heavy metal contents in the body and soil of cabbage

项目	处理	砷 (mg/kg)	汞 (mg/kg)	铅 (mg/kg)	镉 (mg/kg)	铬 (mg/kg)
土壤	施肥前	1.67	未检出	76.700	0.130	121.200
	沼液	1.90	未检出	76.800	0.150	113.300
	化肥(对照)	2.19	未检出	79.700	0.250	106.600
甘蓝	沼液	未检出	0.003	0.042	0.012	0.043
	化肥(对照)	未检出	0.002	0.047	0.011	0.049

3 讨论

太湖蓝藻富含蛋白质(约48%),经沼气发酵后其沼液、沼渣中含氮量为3.00~5.40 g/L,含磷量为0.52~0.87 g/L,含钾量为0.34~0.87 g/L,是优质有机肥。有机肥用于蔬菜生产,供肥时间稳定且长效,各个生育期均能提供养分,不仅可充足地提供营养元素,还可以提供多种微量元素,有利于蔬菜叶绿素的合成和光合产物的合成、积累;同时,可以为土壤微生物提供大量的营养,促进有益微生物的繁殖和活动,对蔬菜生长产生间接的有益影响,使蔬菜产量增加^[18-19];有机肥可以促进土壤团粒结构的形成,对土壤中养分起到吸持的作用,增加土壤养分的容量^[20]。蓝藻是一个有机生物体,其发酵后的沼液中含有比化学氮肥更全面的营养元素。施用新鲜蓝藻发酵沼液后,蔬菜地土壤有机质含量增加4.72%~14.38%,有效磷含量增加2.49%~10.91%,土壤酸性得到缓冲,从而提高了土壤肥力。

将太湖蓝藻无害化处理资源化利用作为太湖水环境治理的部分工作,沼液、沼渣的生产成本可以忽略不计。如将它们作为有机肥施用,则成本只需计算运输成本和施用人力成本。因此,单位面积增收利润=单位面积增产收益+单位面积施尿素成本-单位面积运输成本-单位面积施用成本。以甘蓝为例,农田距蓝藻沼液生产地约9 km,1 hm²用量为100 t,运输成本3 960元,施用人力成本2 400元,尿素成本795元,甘蓝市场售价为1 kg 2元,增产5 070 kg,增收10 140元。沼液替代尿素作氮肥施用于甘蓝,1 hm²实际可增收利润4 575元。同样,1 hm²辣椒、白菜可分别增收利润5 490元、2 850元。蓝藻经发酵处理后作为有机肥可以提高菜农经济效益,减少太湖周边氮肥施用量,本研究为太湖蓝藻变废为宝进行了有益的探索。

从蔬菜的品质来看,维生素C、亚硝酸盐等是蔬菜品质的重要指标,施用蓝藻发酵沼液后甘蓝、辣椒、白菜可食部分的维生素C含量比施用化学肥料均有显著提高,这与有机肥可以提高蔬菜维生素C含量的结论一致^[21-22];甘蓝、辣椒、白菜施用蓝藻沼液后亚硝酸盐含量均比施用化学肥料低,降低幅度为10.34%~30.79%,这与沼液中营养元素存在的形态有关^[23]。

蓝藻作为肥料利用的障碍因子是藻毒素(MCs),它是一种肝毒素,有很高的耐热性。太湖蓝藻自然存放3个月后,其藻毒素MC-RR、MC-LR含量仍高达38 μg/kg、120 μg/kg,但经过好氧前处理和厌氧发酵处理后其藻毒素含量低于5 μg/kg^[2]。关于蓝藻沼液中残留藻毒素的作物安全性评价有待研究。太湖作为饮用水源地,不存在重金属污染问题,虽然蓝藻有富集重金属的效应,但含量仍较低。目前国内尚无将蓝藻发酵的沼液、沼渣作为肥料的重金属标准,但按照已有肥料的Hg、Cd、Pb、Cr、As标准,太湖蓝藻发酵后沼液和沼渣作为肥料使用不存在重金属污染的问题。

参考文献:

- [1] 郑 洵. 从太湖蓝藻突发事件看政府行政与自然的和谐[J]. 江苏工业学院学报, 2010, 11(3): 50-53.
- [2] 韩士群, 严少华, 王震宇, 等. 太湖蓝藻无害化处理资源化利用[J]. 自然资源学报, 2009, 24(3): 431-438.
- [3] 王震宇, 韩士群, 严少华, 等. 蓝藻厌氧发酵过程中若干指标的变化[J]. 江苏农业学报, 2008, 24(5): 701-705.
- [4] 周 庆, 严少华, 宋 伟, 等. 悬浮生物膜载体对蓝藻厌氧发酵产沼气过程的影响[J]. 江苏农业学报, 2009, 25(6): 1305-1308.
- [5] 李 轶, 刘荣厚, 张 振, 等. 沼液对番茄产量及其植株生理活性指标的影响[J]. 沈阳农业大学学报, 2002, 33(2): 103-106.
- [6] 王卫平, 朱凤香, 陈晓阳, 等. 沼液农灌对土壤质量和青菜产量品质的影响[J]. 浙江农业学报, 2010, 22(1): 73-76.

- [7] 覃舟. 施用沼液对紫甘蓝产量、营养品质及土壤质量的影响[J]. 江西农业学报, 2009, 21(7): 83-86.
- [8] 姜继辉, 严少华, 韩士群, 等. 太湖蓝藻发酵后沼渣、沼液的肥效研究[J]. 江苏农业学报, 2009, 25(5): 1025-1028.
- [9] 薛延丰, 李慧明, 石志琦. 蓝藻发酵沼液对青菜生物学特性和品质影响初探[J]. 江西农业学报, 2009, 21(10): 59-62.
- [10] 高朋. 农业化学常用分析方法[M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 1980.
- [11] GB/T15401—1994 水果蔬菜及其制品——亚硝酸盐和硝酸盐含量的测定[S].
- [12] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000: 146-424.
- [13] GB/T17141—1997 土壤质量总镉、铬、铅的测定火焰原子吸收分光光度法[S].
- [14] GB/T17141—1997 土壤质量总砷、汞的测定原子荧光分光光度法[S].
- [15] GB/T5009—1996 中华人民共和国国家标准食品中总砷、汞、铅、镉、铬的测定方法[S].
- [16] GB15618—1995 土壤环境质量标准[S].
- [17] 赵勇, 李红娟, 孙治强. 郑州农区土壤重金属污染与蔬菜质量相关性探析[J]. 中国生态农业学报, 2006, 14(4): 126-130.
- [18] 王凤文. 有机肥料对保护地辣椒品质的影响[J]. 北方园艺, 2006(4): 33-34.
- [19] 邓接楼. 生物有机肥对蔬菜产量及经济效益的影响[J]. 长江蔬菜: 学术版, 2009(12): 57-58.
- [20] 吴增芳. 土壤结构改良剂[M]. 北京: 科学出版社, 1976: 4-37.
- [21] 周焱, 罗安程. 有机肥对大棚蔬菜品质的影响[J]. 浙江农业学报, 2004, 16(4): 210-212.
- [22] 盛下放, 钱永禄, 刘丽. 不同处理有机肥对蔬菜品质和土壤肥力的影响[J]. 农业环境科学学报, 2006, 25(1): 77-80.
- [23] 徐卫红, 王正银, 权月梅, 等. 沼液对莴苣和生菜硝酸盐含量及营养品质的影响[J]. 农村生态环境, 2003, 19(2): 34-37.