

施用沼液对水芹产量及品质的影响^①

赵莉^{1,2,3}, 于建光^{2,3}, 常志州^{2,3*}, 周淑霞^{2,3,4}

(1 南京农业大学资源与环境科学学院, 南京 210095; 2 江苏省农业科学院农业资源与环境研究所, 南京 210014; 3 江苏省农业废弃物资源化工程技术研究中心, 南京 210014; 4 南京师范大学生命科学学院, 南京 210046)

摘 要:为明确沼液在水生蔬菜上的施用效果,通过设置 0、25%、50% 和 75% 不同比例沼液氮素替代化肥氮素田间试验,研究沼液与化肥配施对水芹产量及品质的影响,进而为沼液的资源化利用提供理论依据和技术支撑。结果表明,沼液氮替代化肥氮比例分别为 25%、50% 和 75% 时,水芹产量分别比单施化肥处理提高 6.1%、66.7% 和 44.4%,其中沼液替代比例为 50% 处理的产量最高,达 82 541 kg/hm²。与单施化肥相比,沼液替代化肥各处理水芹茎和叶中总叶绿素、类胡萝卜素、Vc、蛋白质和纤维素含量均无显著变化,但可溶性糖均低于单施化肥处理。与单施化肥处理相比,沼液替代化肥各处理水芹茎部的硝酸盐含量,分别降低了 6.3%、31.9% 和 18.6%。沼液替代化肥施用于水芹,可有效促进水芹生长,提高水芹产量,并能适当改善水芹品质,降低硝酸盐含量;沼液替代化肥的比例以 50% 左右为宜。

关键词:沼液;水芹;产量;品质

中图分类号:S145.2

将大量有机废弃物(如畜禽粪便、工业污泥、厨余垃圾等)先进行厌氧发酵,然后将发酵后的产物作为肥料返还到土壤生态系统已经成为全球各个国家处理废弃物所采用的主要手段^[1]。畜禽粪便经厌氧发酵后(即沼液、沼渣)进入农田,能为作物生长提供大量养分,并有助于维持土壤肥力^[2],是一种良好的有机肥料。因为沼液含有植物生长所需的氮、磷、钾等大量元素及铁、锰等微量元素,且含有腐殖酸、氨基酸和赤霉素等活性物质,能够刺激和促进植物生长。从资源化优先和循环经济的角度考虑,处理沼液最直接有效的方式即作为液体有机肥料施用于农田中^[3]。肥料中的氮素会因各种途径损失(如 NH₃ 挥发、N₂O 排放、淋溶),而影响其对作物的有效性^[2],例如在旱地土壤条件下,由于沼液中氨挥发以及沼液氮素形态等特性与常规化肥有较大差异,可能使沼液中的氮素不能全部为作物吸收利用^[4]。

目前关于沼液在农业利用方面的研究大多集中在水稻、小麦等大宗作物以及西瓜、莴笋等部分水果和蔬菜上,而对水生蔬菜的研究鲜有报道。水生蔬菜由于其特殊的生长环境,生长期内需长期保持一定的水层,除了利用发达的根系吸收水中的氮、磷等

营养物质外,茎和叶也可能是吸收营养元素的重要器官^[5]。在水生蔬菜上施用沼液以替代化肥氮素是否可行,尚未有详细报道。本文以水芹为供试作物,通过田间试验,明确沼液替代部分化肥氮素在水生蔬菜上的施用效果,旨在为沼液的资源化利用提供理论依据和技术支撑。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试作物:水芹(*Oenanthe javanica*),俗称水芹菜,属伞形科宿根多年生草本水生植物。水芹品种为宜兴实心芹。供试田块位于江苏省宜兴市万石镇后洪村,试验用地灌溉条件良好,地势平坦,土壤肥力均一。供试沼液来自江苏省无锡市天蓬生态科技有限公司正常运行的沼气池,发酵原料以奶牛粪污为主。沼液的基本理化性质是:全氮 323.5 mg/L,全磷 42.3 mg/L,全钾 207.1 mg/L,铵态氮 194.0 mg/L,COD 2 296.7 mg/L,pH 9.2。

1.2 试验设计

试验于 2012 年 6 月 30 日至 2012 年 8 月 11 日进

基金项目:农业部公益性行业(农业)科研专项(200903011-01、201203050-1)资助。

* 通讯作者(czhizhou@hotmail.com)

作者简介:赵莉(1986—),女,福建泉州人,硕士研究生,主要从事农业废弃物资源化利用研究。E-mail:ziye_2193@163.com

行,按沼液替代化肥氮素的不同比例,共设 5 个处理: CK:不施肥(清水); N_0 :全部氮素由化肥提供; N_{25} :25%氮素由沼液提供,剩余由化肥提供; N_{50} :50%氮素由沼液提供,剩余由化肥提供; N_{75} :75%氮素由沼液提供,剩余由化肥提供。

除 CK 处理外,各处理氮、磷、钾施用量均保持一致,其中氮、磷、钾施用量分别为 300 kg/hm²(纯 N),90 kg/hm²(P₂O₅)、330 kg/hm²(K₂O);共设 5 个小区,每个处理 1 个小区,随机排列,小区面积为 112 m²(8 m × 14 m);小区田埂筑高约 30 cm,且设有保护行,各小区设有相互独立的排灌系统。田间管理按照当地常规措施进行,不同处理小区通过添加清水使灌溉水

量保持一致。

氮肥用量见表 1,分 3 次施入,其中 40% 用于基肥,其余作为追肥分 2 次施入;基肥使用的化学肥料为 45% 三元复合肥(15:15:15)。第一次追肥在水芹幼苗基本成活后进行,氮素施用量为总氮量的 25%;第二次追肥在第一次追肥后第 7 天进行,氮素施用量为总氮量的 25%,追肥所用化学氮肥为尿素。磷肥为过磷酸钙(含 P₂O₅ 12%),作为基肥一次性施入;钾肥为氯化钾(含 K₂O 60%),其中 50% 用于基肥,50% 在第 2 次追肥时施入。沼液用量通过折算,用塑料桶倒入各小区,当天施完沼液后撒施化肥并混匀,使小区内各处施肥量保持一致。

表 1 不同处理沼液与化肥施用量
Table 1 The application rate of biogas slurry and fertilizers under different treatments

处理	基肥(40%)		第一次追肥(25%)		第二次追肥(35%)	
	沼液(L)	复合肥(kg)	沼液(L)	复合肥(kg)	沼液(L)	复合肥(kg)
CK	0	0	0	0	0	0
N_0	0	8.96	0	1.83	0	2.56
N_{25}	861	6.72	538	1.37	754	1.92
N_{50}	1 723	4.48	1 076	0.91	1 508	1.28
N_{75}	2 583	2.24	1 614	0.46	2 262	0.64

1.3 样品采集及预处理

水芹采收于 2012 年 8 月 11 日进行,收割地上部,去除枯黄叶,按小区计产并测定株高,每个小区按对角线法随机采取 3 个水芹混合样,分别装入塑料袋,每袋 2 kg 左右,当天带回室内洗净,吸干表面水分,分为叶片和茎两部分,并剪碎在 105℃ 烘箱中杀青 30 min 后,在 65℃ 下烘至恒重。烘干样粉碎后过 20 目筛保存,分析测定前在 65℃ 烘箱中烘至恒重,待测。

1.4 测定方法

叶绿素、类胡萝卜素用 80% 丙酮提取,紫外分光光度法测定^[6];维生素 C 采用 2,6-二氯酚靛酚比色法、蛋白质采用凯氏法、可溶性糖采用蒽酮比色法测定^[6];水芹茎部纤维素含量采用范氏洗涤法测定^[7];硝酸盐采用 5% 水杨酸比色法测定^[6]。

1.5 数据统计与分析

试验数据用 Microsoft Excel 2010 处理,用 SPSS17.0 软件进行方差分析,并用 Duncan 法进行差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 不同处理对水芹生长的影响

产量高低是衡量肥料效应最直接的指标,大量研究表明,沼液与化肥适当配施能有效提高蔬菜产

量^[8,10]。由表 2 可看出,施肥处理 N_0 、 N_{25} 、 N_{50} 及 N_{75} 水芹的株高和产量均高于 CK 处理,其中 N_{50} 处理的株高及产量均最高,与不施肥处理 CK 比, N_{50} 处理的水芹株高增加 54.0%,为 67.6 cm;产量提高 85.4%,达 82 541 kg/hm²。此外,沼液替代化肥氮比例为 25%、50% 和 75% 处理的水芹产量分别比单施化肥提高了 6.1%、66.7% 和 44.4%。说明施用沼液不仅能替代化学肥料,还能有效地促进植物生长,获得比单施化肥更高的产量。

表 2 不同处理的水芹株高与产量
Table 2 Yield and plant height of *Oenanthe javanica* under different treatments

处理	株高 (cm)	产量 (kg/hm ²)	较不施肥增产 (%)	较化肥增产 (%)
CK	43.9 ± 5.5	44 522 ± 707	-	-
N_0	46.1 ± 2.5	49 525 ± 707	11.2	-
N_{25}	60.1 ± 5.3	52 526 ± 707	18.0	6.1%
N_{50}	67.6 ± 2.6	82 541 ± 6 567	85.4	66.7%
N_{75}	52.6 ± 3.2	71 536 ± 3 537	60.7	44.4%

注:表中数值为平均值 ± 标准差。

2.2 不同处理对水芹茎、叶中叶绿素的影响

叶绿素主要包括叶绿素 a 和叶绿素 b,是光合作用中最重要和有效的色素,其含量在一定程度上能反映植物光合作用的能力^[11]。由表 3 可看出各处理水芹

叶片的叶绿素 a、叶绿素 b、总叶绿素及类胡萝卜素含量明显高于水芹茎部。4 个施肥处理 N_0 、 N_{25} 、 N_{50} 和 N_{75} 水芹食用部分(茎)的叶绿素 a、总叶绿素和类胡萝卜素含量均显著高于对照($P<0.05$)，其中 N_{75} 处理水芹茎部叶绿素 a、总叶绿素和类胡萝卜素含量极显著高于对照($P<0.01$)；3 个沼液替代处理 N_{25} 、 N_{50} 和 N_{75} 中，水芹叶片叶绿素 a、总叶绿素和类胡萝卜素含量均显著高于对照($P<0.05$)，但均与 N_0 处理无显著性差异；各处理间水芹茎、叶的叶绿素 b 含量无显著差异。与 CK 相比，沼液与化肥配施能有效提高水芹食用部分(茎)和叶片的叶绿素 a、总叶绿素和类胡

萝卜素含量，配施与单施相比，对水芹叶绿素含量影响不大。

2.3 不同处理对水芹茎、叶品质的影响

2.3.1 不同处理对水芹茎、叶营养品质的影响

蔬菜是人们获得维生素和矿物质的主要途径^[12]，Vc、蛋白质、可溶性糖含量都是衡量蔬菜营养品质的基础指标。统计分析表明，各处理之间水芹茎、叶的 Vc 含量差异均不显著。关于施用沼液对蔬菜作物 Vc 含量的影响已有很多报道，但结果不尽一致^[13]，本试验的结果显示，沼液与化肥配施对水芹茎部和叶片的 Vc 含量影响不大(表 4)。

表 3 不同处理的水芹茎、叶中叶绿素含量(mg/g FW)

Table 3 Chlorophyll contents of stem and leaf in *Oenanthe javanica* under different treatments

部位	处理	叶绿素 a	叶绿素 b	总叶绿素	类胡萝卜素
茎	CK	0.05 ± 0.00 C c	0.03 ± 0.01 A a	0.08 ± 0.01 B b	0.02 ± 0.00 B b
	N_0	0.09 ± 0.01 AB ab	0.04 ± 0.00 A a	0.12 ± 0.01 AB a	0.03 ± 0.00 A a
	N_{25}	0.09 ± 0.00 AB b	0.03 ± 0.01 A a	0.12 ± 0.01 AB a	0.03 ± 0.00 A a
	N_{50}	0.08 ± 0.01 B b	0.04 ± 0.01 A a	0.12 ± 0.02 AB a	0.02 ± 0.00 AB a
	N_{75}	0.10 ± 0.00 A a	0.04 ± 0.01 A a	0.13 ± 0.01 A a	0.03 ± 0.00 A a
叶	CK	0.60 ± 0.10 A b	0.17 ± 0.00 A a	0.77 ± 0.10 A b	0.18 ± 0.03 B b
	N_0	0.79 ± 0.04 A ab	0.24 ± 0.05 A a	1.03 ± 0.09 A ab	0.27 ± 0.02 A a
	N_{25}	0.82 ± 0.09 A a	0.23 ± 0.03 A a	1.05 ± 0.12 A a	0.26 ± 0.02 AB a
	N_{50}	0.88 ± 0.02 A a	0.21 ± 0.03 A a	1.08 ± 0.05 A a	0.26 ± 0.01 AB a
	N_{75}	0.93 ± 0.11 A a	0.21 ± 0.03 A a	1.15 ± 0.14 A a	0.27 ± 0.03 A a

注：表中数值为平均值 ± 标准差，同列数据同一植株部位小写字母不同表示差异达到 $P<0.05$ 显著水平，大写字母不同表示差异达到 $P<0.01$ 显著水平，下表同。

表 4 不同处理的水芹茎、叶营养品质指标

Table 4 Nutritional quality of stem and leaf in *Oenanthe javanica* under different treatments

部位	处理	Vc (mg/100g FW)	蛋白质 (mg/g FW)	可溶性糖 (mg/g FW)	纤维素 (% DW)
茎	CK	3.15 ± 0.14 A a	5.09 ± 0.15 B b	91.9 ± 1.5 BC b	0.64 ± 0.00 A a
	N_0	3.54 ± 0.99 A a	6.53 ± 1.00 AB ab	101.1 ± 2.2 A a	0.60 ± 0.00 A a
	N_{25}	2.62 ± 0.41 A a	6.55 ± 0.71 AB ab	89.5 ± 0.4 C bc	0.55 ± 0.15 A a
	N_{50}	2.47 ± 1.01 A a	5.28 ± 0.23 AB b	86.4 ± 1.9 C c	0.72 ± 0.05 A a
	N_{75}	3.20 ± 0.37 A a	7.61 ± 0.08 A a	97.0 ± 2.0 AB a	0.57 ± 0.05 A a
叶	CK	20.80 ± 3.33 A a	17.60 ± 0.44 C d	36.3 ± 2.6 AB b	-
	N_0	27.02 ± 10.97 A a	27.07 ± 2.01 A ab	42.3 ± 0.5 A a	-
	N_{25}	29.57 ± 5.87 A a	22.38 ± 0.42 B c	34.6 ± 2.2 B b	-
	N_{50}	34.08 ± 5.69 A a	27.40 ± 0.02 A a	36.5 ± 0.9 AB b	-
	N_{75}	30.46 ± 2.16 A a	24.50 ± 0.88 AB bc	37.4 ± 1.2 AB b	-

注：“-”表示未测定。

表 4 还显示，水芹茎的蛋白质含量以处理 N_{75} 最高，为 7.61 mg/g，极显著高于 CK($P<0.01$)，也显著高于 N_{50} 处理($P<0.05$)。 N_0 、 N_{25} 、 N_{50} 和 N_{75} 各施肥处理水芹叶片的蛋白质含量均极显著高于 CK

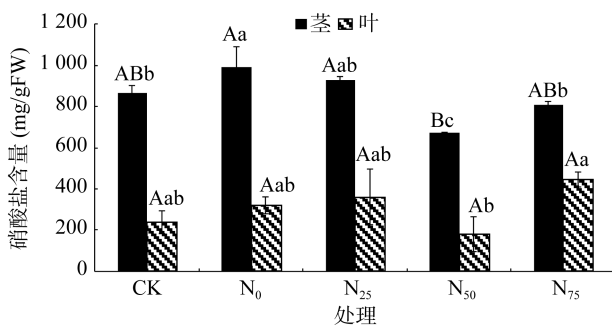
($P<0.01$)，以处理 N_{50} 最高，极显著高于处理 N_{25} ($P<0.01$)，显著高于处理 N_{75} ($P<0.05$)，与单施化肥处理 N_0 无显著性差异。

在 N_{25} 、 N_{50} 和 N_{75} 3 个沼液处理中，水芹叶片可

溶性糖含量均显著低于单施化肥处理 N_0 ($P < 0.01$); 除 N_{75} 处理外, N_{25} 和 N_{50} 处理水芹茎部可溶性糖极显著低于 N_0 处理 ($P < 0.01$), N_{75} 处理水芹茎部可溶性糖含量为 97.0 mg/g, 极显著高于 N_{25} 和 N_{50} 处理, 与单施化肥处理 N_0 无显著性差异(表 4)。水芹富含纤维素, 纤维素不但有利于增强肺脏的功能, 而且还能够降低血糖, 延长抗氧化剂的作用时间^[14]。各施肥处理水芹茎部的纤维素含量与 CK 相比无显著差异(表 4)。

2.3.2 不同处理对水芹茎、叶硝酸盐含量的影响

由图 1 可见, N_{25} 、 N_{50} 和 N_{75} 处理水芹茎部的硝酸盐含量比单施化肥处理(N_0)分别降低 6.3%、31.9% 和 18.6%。水芹茎、叶硝酸盐含量均以 N_{50} 处理最低, 其茎部硝酸盐含量为 675.72 mg/g, 显著低于 N_{75} 和 CK 处理 ($P < 0.05$) 极显著低于 N_0 和 N_{25} 处理 ($P < 0.01$); 叶片中的硝酸盐含量为 180.62 mg/g, 显著低于 N_{75} 处理 ($P < 0.05$), 与 CK、 N_0 、 N_{25} 及 N_{75} 处理无显著性差异。上述结果说明沼液替代 50% 化肥氮能显著降低水芹茎、叶中的硝酸盐含量, 与史雅娟等^[15]在油菜上的研究结果相一致, 李会合等^[16]的研究也报道了蔬菜中硝酸盐降低幅度可达 5% ~ 67%, 其中也以 50% 沼液替代处理的降幅最大。



(图中同一植株部位小写字母不同表示处理间差异达到 $P < 0.05$ 显著水平, 大写字母不同表示处理间差异达到 $P < 0.01$ 显著水平)

图 1 不同处理水芹茎、叶的硝酸盐含量

Fig. 1 Nitrate contents of stem and leaf in *Oenanthe javanica* under different treatments

3 讨论与结论

Brechin 等^[17]报道了施用猪粪水能有效提高作物产量, 并且能够部分或者全部取代化肥。有研究表明施用沼液在提高土壤有机质含量方面的效果优于施用化肥, 且沼渣与沼液配合施用能提高土壤有机质及碱解氮含量方面效果显著^[18]。本研究中, 沼液部分替代化肥氮能有效提高水生蔬菜产量, 产量提高的原因可能有: 施用沼液能增加土壤有机质含量, 并有利于增强土壤团聚作用, 从而延长了土壤中有氮的保存时间, 同时还能增强土壤微生物群落活性, 提高

氮素矿化量, 进而提高作物对氮素的吸收利用^[1,19];

沼液提供的氮素形态以及沼液中氮素释放规律可能与水芹对氮素的需求较一致, 从而提高产量。随着沼液替代化肥氮素比例的提高, 水芹株高及产量都呈现出先升高后下降的现象, 且均在 N_{75} 处理上出现下降。这可能是由于: 氮的挥发, 因为沼液中含有较大比例的 $\text{NH}_4^+\text{-N}$, 在高温条件下, 田面水中大部分 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 以氨气的形式挥发到大气中, 且沼液施用量越大, 氮的挥发量也越大, 从氮挥发导致的氮损失总量来看, 施用沼液处理的氮损失总量显著高于单施化肥处理^[20-21], N_{75} 处理施入的沼液量最大, 部分氮素可能由于氮的挥发而损失, 进而影响作物对氮素的吸收利用; 本试验所用的沼液是以牛粪污为主要发酵原料的, 成分较为复杂, 除养分外还可能含有重金属、兽药残留、盐分及有害菌等有害污染物, 这些物质的存在有可能会限制水芹的生长, 如有报道表明畜禽粪便为主要发酵原料的沼液在施入农田后可能会增加土壤盐分, 造成土壤盐分表聚, 抑制作物的生根和出苗^[22]。

施用沼液能有效提高水芹叶绿素含量, 进而促进其光合作用能力, 这可能与沼液中的氮素形态有关, 因为沼液是一种水溶性的速效有机肥, 其中铵态氮占全氮的 60%, 能迅速提供作物所需氮源。作物叶片的氮素营养与光合作用有着密切的关系, 作物叶片的净光合速率不仅受到氮素总量的影响, 而且与不同形态的氮素营养供应有着密切的关系^[23]。

关于施用沼液对 Vc 含量的影响已有很多报道, 李建勇等^[24]的试验表明, 沼液及沼液与无机氮配施对茎瘤芥 Vc 含量无影响; 而李会合等^[16]报道沼液及沼液与无机氮配施使木耳菜的可溶性糖和 Vc 含量下降。蔬菜作物 Vc 含量会随氮肥用量、种类、形态及配比等不同而有所变化^[25]; 对 Vc 含量的调控, 可以通过有机氮肥比例调控土壤硝态氮而起作用^[26]。由于沼液是一种速效养分含量较高的有机肥, 对水芹 Vc 含量的影响可能与沼液中的有机态成分有关。本试验中, 在沼液替代化肥氮的各处理之间, N_{75} 处理的水芹茎部可溶性糖、蛋白质含量最高, 这与汪吉东等^[27]的研究结果一致; 由于沼液对蔬菜营养品质的影响较为复杂, 其影响机制尚不明确, 有待进一步研究。

施入土壤的氮素是蔬菜累积硝态氮的主要来源, 氮肥用量是决定蔬菜硝态氮累积多少的主要因素, 但蔬菜硝态氮吸收与还原转化不平衡, 以及植株吸收和生长的不协调也会影响叶菜类蔬菜对硝态

氮的积累^[28]。本研究显示,沼液与化肥配施能显著降低水芹硝酸盐含量,以沼液替代化肥氮比例为50%处理的水芹硝酸盐含量最低,这可能是由于沼液中的氨基酸对植株内的硝酸还原酶有激活作用,可部分取代硝态氮使作物体内硝酸盐含量降低^[10,29]。

综合考虑水芹的产量和品质,本研究认为,沼液部分替代化肥氮素用于水芹的种植,不仅能显著提高水芹产量,还能适当改善水芹品质,降低硝酸盐含量,且替代化肥氮素比例为50%左右较为适合。在水芹地上施用沼液以替代化肥,不仅能大量消纳沼液,而且可获得产量高和品质优的产品。

参考文献:

- [1] Abubaker J, Risberg K, Pell M. Biogas residues as fertilisers—Effects on wheat growth and soil microbial activities[J]. *Applied Energy*, 2012, 99: 126–134
- [2] Matsunaka T, Sawamoto T, Ishimura H, Takakura K, Takekawa A. Efficient use of digested cattle slurry from biogas plant with respect to nitrogen recycling in grassland[J]. *International Congress Series*, 2006, 1293: 242–252
- [3] 唐微, 五钧, 孙白晔, 杨刚, 杨琴. 沼液不同施用量对水稻产量及稻米品质的影响[J]. *农业环境科学学报*, 2010, 29(2): 2268–2273
- [4] 王月霞, 符建荣, 王强, 汪建妹, 马军伟, 姜丽娜. 沼液农田消解利用对辣椒产量、品质及土壤肥力的影响[J]. *浙江农业学报*, 2010, 22(6): 859–863
- [5] 刘佳, 刘永立, 叶庆富, 王宏燕. 水生植物对水体中氮、磷的吸收与抑藻效应的研究[J]. *核农学报*, 2007, 21(4): 393–396
- [6] 李合生. 植物生理生化实验技术与原理[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000: 160–238
- [7] 杨胜. 饲料分析及饲料质量监测技术[M]. 北京: 北京农业大学出版社, 1983: 45–47
- [8] Liu WK, Du LF, Yang QC. Biogas slurry added amino acid decrease nitrate concentrations of lettuce in sand culture[J]. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B-Soiland Plant Science*, 2008, 2:10–14
- [9] 徐卫红, 王正银, 王旗, 欧阳柬, 陈彩范. 不同沼液及用量对莴笋和萝卜硝酸盐及营养品质的影响[J]. *中国沼气*, 2003, 21(2): 11–13
- [10] 周杰良, 王建湘, 李树战, 张雄. 沼液对有机基质栽培青椒果实产量及品质的影响[J]. *农业现代化研究*, 2007, 28(2): 254–256
- [11] 姜卫兵, 高光林, 俞开锦, 汪良驹, 马凯. 水分胁迫对果树光合作用及同化代谢的影响研究进展[J]. *果树学报*, 2002, 19(6): 416–420
- [12] 刘文科, 杨其长, 王顺清. 沼液在蔬菜上的应用及其土壤质量效应[J]. *中国沼气*, 2009, 27(1): 43–48
- [13] Mozafar A. Nitrogen fertilizers and the ammonium of vitamins in plants: A review[J]. *Journal of Plant Nutrition*, 1993, 16(12): 2479–2506
- [14] 张永军. 多吃蔬菜有利于预防呼吸道疾病[J]. *中国保健食品*, 2006(7): 13
- [15] 史雅娟, 刘敏超, 吴成. 施用沼肥对油菜硝酸盐含量及土壤速效氮的影响[J]. *农业现代化研究*, 2001, 22(4): 242–244
- [16] 李会合, 叶学见, 王正银. 沼液对基质培木耳菜硝酸盐和营养品质的影响[J]. *中国沼气*, 2003, 21(1): 37–39
- [17] Brechin J, McDonald, GK. Effect of form and rate of pig manure on the growth, nutrient uptake, and yield of barley(cv. Galleon)[J]. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 1994, 34: 505–510
- [18] 李轶, 张玉龙, 宋春萍, 吕绪凤, 张春梅. 施用沼肥对保护地蔬菜栽培土壤理化性质的影响[J]. *中国沼气*, 2006, 24(4): 17–19
- [19] 李江涛, 钟晓兰, 赵其国. 畜禽粪便施用对稻麦轮作土壤质量的影响[J]. *生态学报*, 2011, 31(10): 2837–2845
- [20] 宋勇生, 范晓晖, 林德喜, 杨林章, 周健民. 太湖地区稻田氮挥发及影响因素的研究[J]. *土壤学报*, 2004, 41(2): 265–269
- [21] 吴华山, 郭德杰, 马艳, 常志州. 猪粪沼液施用对土壤氮挥发及玉米产量和品质的影响[J]. *中国生态农业学报*, 2012, 20(2): 163–168
- [22] 张树清, 张夫道, 刘秀梅, 王玉军, 邹绍文, 何绪生. 规模化养殖畜禽粪主要有害成分测定分析研究[J]. *植物营养与肥料学报*, 2005, 11(6): 822–829
- [23] 肖凯, 张树华, 邹定辉, 张荣铤. 不同形态氮素营养对小麦光合特性的影响[J]. *作物学报*, 2000, 26(1): 53–58
- [24] 李建勇, 王正银, 李泽碧, 李成琼, 刘朝贵, 徐卫红, 朱洪霞. 沼液与化肥配施对茎瘤芥产量和品质的效应[J]. *中国沼气*, 2007, 25(6): 31–33
- [25] 郭熙盛, 吴礼树. 施用氮钾肥料对蔬菜品质影响的研究进展[J]. *华中农业大学学报*, 2002, 21(6): 593–598
- [26] 沈明星, 刘凤军, 吴彤东, 王海侯, 陆长婴, 施林林, 沈晓萍. 有机无机氮肥比例对小白菜产量和硝酸盐、Vc含量的影响[J]. *江苏农业学报*, 2009, 25(3): 560–563
- [27] 汪吉东, 马洪波, 高秀美, 许仙菊, 宁运旺, 张辉, 张永春. 水葫芦发酵沼液对紫叶茼蒿生长和品质的影响[J]. *土壤*, 2011, 43(5): 787–792
- [28] 王朝辉, 田霄鸿, 李生秀. 叶类蔬菜的硝态氮累积及成因研究[J]. *生态学报*, 2001, 21(7): 1136–1141
- [29] Liu XQ, Ko KYK, Lee SH. Enhancement of nitrate uptake and reduction by treatment with mixed amino acids in red pepper (*Capsicum annum* L.)[J]. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B-Soil and Plant Science*, 2007, 57: 167–172

Effect of Biogas Slurry on the Growth and Quality of *Oenanthe javanica*

ZHAO Li^{1,2,3}, YU Jian-guang^{2,3}, CHANG Zhi-zhou^{2,3*}, ZHOU Shu-xia^{2,3,4}

(1 College of Resources and Environmental Science, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China; 2 Institute of Agricultural Resources and Environment, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China; 3 Jiangsu Provincial Engineering Research Centre for the Reclamation of Agricultural Waste, Nanjing 210014, China; 4 College of Life Sciences, Nanjing Normal University, Nanjing 210046, China)

Abstract: In order to provide theoretical basis and technical support for the utilization of biogas slurry, a field experiment was conducted to investigate the effects of different ratios (0, 25%, 50% and 75%) of biogas slurry nitrogen, which substituted chemical nitrogen fertilizer, on the yield and quality of aquatic vegetables (*Oenanthe javanica*). The results indicated that the yields of *Oenanthe javanica* amended with 25%, 50% and 75% ratio of biogas slurry were 6.05%, 66.67% and 44.44%, respectively, which were all higher than that amended with chemical fertilizer treatment. The highest yield of *Oenanthe javanica* appeared in the treatment amended with 50% ratios of slurry, which was 82 541 kg/hm². There were no significant differences in chlorophyll, carotenoid, vitamin C, cellulose and protein contents in the stem and leaf of *Oenanthe javanica* between different ratios biogas slurry treatments and chemical fertilizer treatment. The soluble sugar contents in stem and leaf of *Oenanthe javanica* of other four treatments were lower than that of chemical fertilizer treatment. Compared with chemical fertilizer treatment, nitrate contents in treatments with biogas slurry application ratio of 25%, 50% and 75% were decreased by 6.3%, 31.9% and 18.6%, respectively. In conclusion, the application of biogas slurry for substitution of chemical nitrogen fertilizer on *Oenanthe javanica* could promote the growth of *Oenanthe javanica* and improve its quality, also could reduce the nitrate contents of *Oenanthe javanica*. In this paper, the best slurry application ratio was 50% or so.

Key words: Biogas slurry, *Oenanthe javanica*, Yield, Quality