

# 水葫芦发酵沼液对紫叶茼蒿生长和品质的影响<sup>①</sup>

汪吉东<sup>1</sup>, 马洪波<sup>1</sup>, 高秀美<sup>1,2</sup>, 许仙菊<sup>1</sup>, 宁运旺<sup>1</sup>, 张辉, 张永春<sup>1\*</sup>

(1 江苏省农业科学院农业资源与环境研究所, 南京 210014; 2 南京农业大学资源与环境科学学院, 南京 210095)

**摘要:** 利用田间小区试验研究了等氮量下不同比例水葫芦发酵沼液对紫叶茼蒿生长、产量、氮磷钾养分吸收量及茎部品质的影响。结果表明, 沼液替代化肥氮比例为 50%、75% 和 100% 处理茼蒿产量分别比 100% 化肥氮处理增加 9.1%、16.1% 和 10.3%。但基肥中化肥的比例上升能促进茼蒿苗期的生长和提高氮的吸收, 而沼液作为追肥较单施化肥更能促进茼蒿的生长和养分的吸收。同时沼液氮施用比例增加, 茼蒿商品化率提高。和 100% 化肥处理相比, 沼液施用比例为 50%、75% 和 100% 处理硝酸盐含量分别降低了 13.6%、14.3% 和 11.3%。沼液氮施用比例为 50% ~ 100% 处理中, 100% 沼液氮施用处理其可溶性糖、Vc 含量和游离氨基酸含量都最低, 而 75% 沼液氮施用比例下可获得最高的氨基酸、可溶性糖和 Vc 含量。研究认为, 沼液基施效果比单施尿素等化学肥料效果稍差, 但追施沼液比化肥更加促进了茼蒿的生长和养分吸收, 并缩短茼蒿的生长期, 提高其商品率。综合茼蒿生长趋势、生物量及商品化率和品质来看, 沼液替代 75% 化肥氮比例是最佳施用比例。

**关键词:** 水葫芦; 沼液; 氮肥; 品质

**中图分类号:** S555<sup>+</sup>; 609.9

水葫芦 (*Eichhornia crassipes* S.) 属雨久花科凤眼莲属, 其生物量大, 在适宜温度下能快速生长, 并大量吸收 N、P、K 养分, 是世界上公认的富集水体 N、P 能力强水生植物<sup>[1-2]</sup>。现阶段被广泛用于富营养化水体的修复<sup>[3-4]</sup>。国内外已有许多应用水葫芦控制性种养技术去除水体富营养化的研究报道<sup>[5-6]</sup>。在这一技术体系中, 水葫芦的后续利用是其较关键的环节, 决定着这一技术的应用前景<sup>[7]</sup>。将大规模种养后的水葫芦资源化是解决水葫芦水体修复后的去向问题的关键。将富含养分的水葫芦挤压汁进行厌氧发酵, 再将其产物 (沼液) 应用到农田, 为作物生长提供所需的养分, 既解决了水葫芦种养后的消纳问题, 且可以减少农田化学养分的投入, 具有显著的现实意义。

水葫芦挤压汁发酵液 (简称沼液) 是沼气厌氧发酵后的产物, 其速效营养能力强, 养分可利用率高, 能迅速被作物吸收利用<sup>[8]</sup>, 现有研究表明施用沼液不但能提高作物的产量和品质, 而且具有防病抗逆作用, 是一种优质的有机液体肥料。目前对畜禽粪便发酵产生的沼液进行了较多研究, 水葫芦挤压汁发酵液 (沼液) 的应用研究尚处于空白, 同时, 关于水葫芦修复

水体的研究多集中于对 N、P 去除效果上, 对水葫芦应用方面的研究还相对薄弱, 特别是对其养分在农田利用的研究尚不多见<sup>[9-10]</sup>。本试验研究等氮量下不同比例水葫芦沼液和肥料配施对速生蔬菜紫叶茼蒿生长和品质的影响, 以期水葫芦沼液在农田的大面积消纳及蔬菜的合肥施用提供理论支持。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试土壤及试验材料

试验于 2009 年在常州市武进区雪堰镇蔬菜基地 (31°28' N, 120°05' E) 进行, 海拔 5 m, 年降雨量 1000 ~ 1100 mm。土壤母质为太湖淤泥质河淤土, 2008 年后由水稻土改为蔬菜地, 其基本理化性状见表 1。

试验材料为当地主栽品种紫叶茼蒿, 生长期为 40 天。在苗床育苗至三叶一心时, 移栽到小区。

水葫芦打捞出水后, 初步粉碎, 通过专用螺旋挤压机进行固液分离, 分离后的水葫芦挤压汁进行酸化和接入起爆剂, 进入厌氧发酵罐发酵, 2~3 个月后形成沼液, 沼液的营养成分为每吨含 N 1.0 ~ 1.5 kg, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0.42 ~ 0.68 kg, K<sub>2</sub>O 3.0 ~ 4.8 kg。

①基金项目: 国家科技支撑计划项目 (2009BAC63B02)、国际合作项目 (IPNI Jiangsu-10) 和江苏省农业科技自主创新资金项目 (cx(10)-226) 资助。

\* 通讯作者 (yczhang66@sina.com)

作者简介: 汪吉东 (1979—), 男, 湖北黄石人, 硕士, 助理研究员, 主要从事土壤质量和植物营养研究。E-mail: jidongwang607@yahoo.com.cn

表 1 供试土壤的基本理化性质  
Table 1 Basic properties of tested soil

层次 (cm)	pH	碱解 N (mg/kg)	速效 P (mg/kg)	速效 K (mg/kg)	有机质 (g/kg)
0~10	5.57	199.6	6.67	32.8	22.1
10~20	6.86	144.1	2.94	26.9	20.2

## 1.2 试验设计

试验设 6 个处理, 包括不施肥对照处理, 其余各处理施肥量为 N 300 kg/hm<sup>2</sup>、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 180 kg/hm<sup>2</sup>、K<sub>2</sub>O 240 kg/hm<sup>2</sup>, 莴苣生长所需 N 用不同比例的水葫芦沼液替代尿素, 沼液替代率分别为 0、25%、50%、75% 和 100%, 沼液和尿素分别按基肥: 苗肥: 莲座肥: 追肥为 4:2:2:2 的比例施入, P 肥 (过磷酸钙) 和 K 肥 (氯化钾) 以基肥施入。试验小区面积 4.5 m × 4 m = 18 m<sup>2</sup>, 种植莴苣 144 棵, 四周设保护行。重复 3 次, 随机区组排列, 常规田间管理。

## 1.3 采样及样品分析

本试验分别于苗期、莲座期、成熟期每小区采集 6 株, 茎叶、根系分别洗净、杀青后烘干称重, 并粉碎以分析 N、P、K 含量; 成熟期采集莴苣鲜样, 剥离外皮后分析茎部鲜样可溶性糖、Vc、氨基酸和硝酸盐含量, 其中可溶性糖采用蒽酮比色法、Vc 采用 2,6 二氯酚比色法, 硝酸盐采用紫外分光比色法, 氨基酸采用茚三酮比色法<sup>[11]</sup>。

## 1.4 数据处理与分析

用 Microsoft Excel 2003 进行简单数据处理; SPSS11.0 统计软件进行方差分析和多重比较 (LSD)。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同比例沼液施用对莴苣生物量的影响

2.1.1 苗期和莲座期莴苣的生物量 各处理苗期和莲座期生物量见图 1, 结果显示苗期和莲座期各施肥处理间的根系、茎叶和整株生物量无显著差异, 除 100% 化肥处理苗期茎叶和整株生物量显著高于对照和 100% 沼液处理莲座期茎叶和整株生物量显著高于对照外, 其他施肥处理和对照无显著差异。苗期各处理的根系生物量无显著差异, 而莲座期除 50% 沼液供应处理与对照无差异外, 其他施肥处理都显著高于对照处理。以上表明, 化肥作为基肥效果略好于沼液, 莴苣后期施用沼液则有利于作物生长, 这与沼液中速效养分含量高有关。

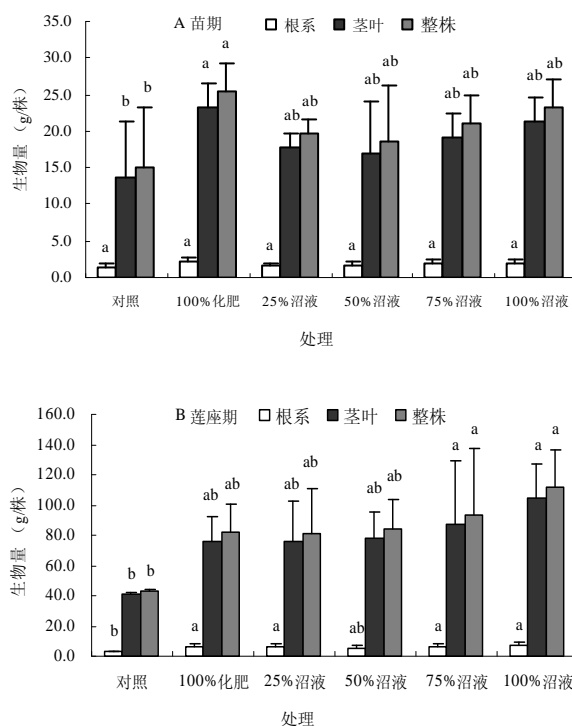


图 1 不同沼液比例处理莴苣苗期和莲座期的生物量  
Fig. 1 Effects of different ratios of biogas slurry on Lettuce biomass in seedling and rosette stage

2.1.2 成熟期莴苣的产量 图 2 为 4 次收获的莴苣量和总产量, 其中前 3 次为商品莴苣 (第四次收获莴苣商品率低)。结果显示, 等施 N 量下沼液施用比例达到 50% ~ 100% 的 3 处理总产量都显著高于 100% 化肥处理和对照。所有处理中 75% 沼液处理可获得最高的产量, 显著高于对照、100% 化肥和 25% 沼液处理, 而与 50% 沼液和 100% 沼液处理无显著差异。莴苣的 4 次收获中, 前 3 批为商品化莴苣, 前 3 次收获的莴苣产量都随沼液施用比例的上升而增加 (图 2), 以上表明提高沼液的施用比例可显著提高莴苣的商品率, 因此可获得较高的经济价值。

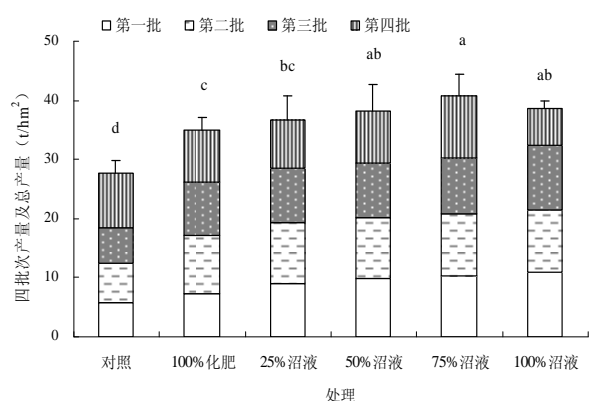


图 2 不同沼液比例处理茼蒿四次收获量

Fig. 2 Lettuce biomass in different ratios of biogas slurry treatments

## 2.2 不同比例沼液施用对茼蒿的氮磷钾养分含量及吸收量的影响

2.2.1 茼蒿的 N、P、K 含量 表 2~4 为茼蒿分别在苗期、莲座期和收获期的 N、P、K 含量，结果显示施用沼液和化肥都提高了茼蒿叶片、茎和根系的 N、P、

K 含量。等 N 施肥量下，100% 化肥处理其苗期茼蒿叶片和根系 N 含量及根系的 P 含量都高于沼液施用处理，其中茼蒿叶片 N 含量与沼液施用比例大于 50% 的 3 个处理相差达到显著水平。莲座期施用 100% 化肥处理和沼液施用比例大于 50% 的 3 处理差异则不显著，收获期沼液施用比例为 50% 处理则显著高于对照和 100% 化肥处理，根系也呈相似趋势。不同沼液和化肥配合施用处理苗期和莲座期 P 含量和 K 含量变化趋向一致，与 N 存在差异，即苗期和莲座期 100% 化肥处理茼蒿叶片的 P、K 含量都小于施用沼液处理，与 100% 沼液施用处理差异达到显著水平，这可能与肥料态 P、K 施入土壤后的移动性差，而沼液中养分易被吸收有关。收获期各施肥处理茼蒿的叶片和茎 P 含量无差异，而叶片 K 含量则表现为 75% ~ 100% 沼液施用处理明显低于对应 25% 和 50% 施用处理。以上表明高比例沼液作基肥对苗期茼蒿的生长 N 的持续供应能力不足，追施沼液，茼蒿生长趋势则好于等 N 量尿素处理。

表 2 不同时期紫叶茼蒿的 N 含量 (g/kg)

Table 2 Nitrogen content of lettuce in different growing stages

处理	苗期		莲座期		收获期		
	叶片	根系	叶片	根系	叶片	茎	根系
对照	32.2 ± 1.6 a	12.1 ± 0.5 b	17.8 ± 0.1 a	10.4 ± 0.9 b	22.2 ± 0.8 c	17.8 ± 1.0 a	11.1 ± 0.8 b
100% 化肥	31.6 ± 0.13 a	15.6 ± 1.3 a	16.7 ± 0.2 ab	13.1 ± 2.4 ab	22.1 ± 1.1 c	16.7 ± 0.2 ab	10.5 ± 0.3 b
25% 沼液	30.9 ± 0.8 ab	15.3 ± 2.2 a	14.4 ± 1.9 b	14.5 ± 1.0 a	25.2 ± 1.5 a	14.4 ± 1.9 b	13.2 ± 0.3 ab
50% 沼液	28.9 ± 1.6 bc	14.4 ± 0.7 ab	15.4 ± 1.9 ab	11.9 ± 2.3 ab	24.4 ± 0.2 ab	15.4 ± 1.9 ab	14.1 ± 0.7 a
75% 沼液	28.7 ± 0.9 bc	13.5 ± 1.6 ab	15.7 ± 1.1 ab	11.5 ± 0.4ab	23.7 ± 0.4 abc	15.7 ± 1.1 ab	14.3 ± 1.1 a
100% 沼液	28.4 ± 0.3 c	13.9 ± 2.3 ab	18.0 ± 1.5 a	10.8 ± 1.3 b	22.9 ± 0.5 bc	18.0 ± 1.5 a	12.3 ± 2.3 ab

注：表中数值为平均值±标准差，同列不同小写字母表示不同处理间差异显著 (p<0.05)，下同。

表 3 不同时期紫叶茼蒿的 P 含量 (g/kg)

Table 3 Phosphorous content of lettuce in different growing stages

处理	苗期		莲座期		收获期		
	叶片	根系	叶片	根系	叶片	茎	根系
对照	16.9 ± 0.2 a	10.4 ± 1.9 a	12.2 ± 1.3 c	8.0 ± 1.1 b	10.3 ± 1.0 a	26.3 ± 2.4 a	9.3 ± 0.8 b
100% 化肥	13.0 ± 2.6 b	12.4 ± 0.3a	14.1 ± 1.2 bc	9.8 ± 0.8 ab	10.3 ± 0.7 a	29.8 ± 5.1 a	10.1 ± 1.2 b
25% 沼液	14.9 ± 0.1 ab	12.3 ± 0.3 a	15.2 ± 2.4 abc	9.8 ± 0.6 ab	12.4 ± 1.6 a	28.5 ± 3.5 a	12.1 ± 0.7 a
50% 沼液	15.7 ± 1.5 a	11.7 ± 0.5 a	16.2 ± 1.7 ab	9.8 ± 1.2 ab	12.3 ± 1.1 a	30.8 ± 0.7 a	10.8 ± 1.1 b
75% 沼液	14.9 ± 0.7 ab	11.6 ± 0.6 a	16.1 ± 2.2 ab	9.1 ± 0.5 ab	11.5 ± 0.9 a	28.6 ± 0.7 a	9.7 ± 0.9 b
100% 沼液	15.7 ± 0.9 a	11.3 ± 1.2 a	17.6 ± 1.0 a	10.2 ± 1.4 a	10.5 ± 0.5 a	31.2 ± 1.7 a	10.3 ± 1.0 b

表 4 不同时期紫叶莴苣的 K 含量 (g/kg)

Table 4 Potassium content of lettuce in different growing stages

处理	苗期		莲座期		收获期		
	叶片	根系	叶片	根系	叶片	茎	根系
对照	74.6 ± 6.2 ab	40.1 ± 1.2 b	47.5 ± 1.3 c	27.6 ± 5.0 b	50.5 ± 6.9 bc	52.0 ± 8.7 d	31.2 ± 5.2 c
100% 化肥	65.2 ± 10.0 b	47.3 ± 9.2 ab	59.9 ± 6.2 b	34.6 ± 3.7 b	56.7 ± 1.9 abc	60.9 ± 0.7 c	32.2 ± 5.7 c
25% 沼液	7.28 ± 0.43 ab	4.55 ± 0.10 ab	67.6 ± 7.5 b	45.6 ± 10.2 ab	66.5 ± 7.7 a	65.0 ± 2.6 bc	34.8 ± 3.8 c
50% 沼液	7.06 ± 0.87 ab	4.18 ± 0.12 ab	60.3 ± 1.3 b	47.8 ± 27.6 ab	61.4 ± 5.1 ab	69.8 ± 4.8 ab	37.6 ± 3.2 bc
75% 沼液	7.59 ± 0.15 ab	5.05 ± 0.65 ab	63.2 ± 9.3 b	51.9 ± 2.0 ab	47.7 ± 5.6 c	62.3 ± 1.9 bc	51.6 ± 6.7 ab
100% 沼液	8.09 ± 0.31 a	5.12 ± 0.47 a	79.5 ± 4.8 a	65.2 ± 8.0 a	55.1 ± 2.3 bc	73.8 ± 1.6 a	66.7 ± 8.8 a

2.2.2 莴苣的 N、P、K 吸收量 表 5 显示, 莴苣生长各时期各施肥处理莴苣的 N、P、K 吸收量都明显大于对照。苗期莴苣吸收的 N 以 100% 化肥处理和 100% 沼液处理最高, 明显高于对照和其他施肥处理, 而 P、K 含量都以 100% 沼液施用处理为最高; 莲座期则除 100% 沼液处理 N 累积量高于其他处理外, 100%

化肥处理和其他沼液处理间差别不大, 而 P 吸收量则随沼液施用比例的提高而增加, K 的吸收量也呈相同趋势; 成熟期各施肥处理 N、P、K 吸收量都以 100% 沼液处理为最高, 25% 沼液比例处理为最低, 其他施肥处理除 N 吸收量存在较大差异外, P、K 吸收量差异较小。

表 5 各处理莴苣不同生育期的 N、P、K 吸收量 (g/株)

Table 5 Absorption rates of nitrogen, phosphorous and potassium of lettuce in different ratios of biogas slurry treatments

处理	N			P			K		
	苗期	莲座期	成熟期	苗期	莲座期	成熟期	苗期	莲座期	成熟期
对照	0.11	0.19	1.08	0.06	0.13	0.90	0.27	0.50	2.93
100% 化肥	0.19	0.34	1.17	0.08	0.28	1.01	0.41	1.19	3.37
25% 沼液	0.14	0.29	1.14	0.07	0.30	0.94	0.34	1.34	3.33
50% 沼液	0.13	0.32	1.30	0.07	0.33	1.14	0.32	1.25	3.78
75% 沼液	0.14	0.36	1.28	0.08	0.37	1.01	0.39	1.46	3.41
100% 沼液	0.18	0.49	1.31	0.10	0.48	1.16	0.52	2.20	4.35

### 2.3 不同比例沼液施用对莴苣茎品质的影响

据报道, 人类膳食中 90% 以上的 Vc 来自水果和蔬菜, 因此 Vc 含量是许多蔬菜作物重要的营养品质指标之一<sup>[12]</sup>; 而氨基酸和蛋白质则是 N 同化和利用的最终产物, 与可溶性糖都是蔬菜的重要品质指标。而对蔬菜作物 Vc 含量的影响已有很多报道, 但结果不尽一致<sup>[13]</sup>。在大白菜中却发现 Vc 含量与供 N 水平呈负相关<sup>[14]</sup>。本研究中莴苣颈部 (去皮, 下同) Vc 含量也以不施 N 对照处理含量最高, 100% 沼液施用处理为最低, 但除对照处理 Vc 含量显著高于 100% 沼液处理外, 其他处理差异都不显著; 各处理可溶性糖含量也以对照处理最高, 且可溶性糖含量随沼液施用比例上升呈下降趋势, 100% 沼液施肥处理莴苣茎部可溶性糖含量最低, 显著低于对照和 100% 化肥及 25% 沼液处理, 但沼液比例小于 75% 的 4 处理间无显著差

异; 氨基酸含量则以 100% 沼液处理为最低, 75% 沼液处理为最高, 显著高于 100% 沼液、25% 沼液和对照处理 (表 6)。

硝酸盐含量偏高是制约莴苣等农产品生产的主要因子<sup>[15]</sup>。表 6 显示各处理的硝酸盐含量以 25% 沼液处理和单施尿素处理为最高, 其中 25% 沼液处理显著高于对照处理, 和 100% 化肥处理相比, 沼液施用比例为 50%、75% 和 100% 处理硝酸盐含量分别降低了 13.6%、14.3% 和 11.3%, 以上结果表明, 沼液施用比例大于 50% 可降低莴苣的硝酸盐含量, 这和沈明星等<sup>[16]</sup>在菜薹上施用水葫芦沼液的试验结果相一致。

沼液施用对莴苣品质的影响较为复杂, 100% 沼液施用处理降低了可溶性糖和 Vc 含量, 而提高了莴苣硝酸盐含量, 而 75% 沼液施用比例下可获得最高的氨基酸含量、较高的可溶性糖和 Vc 含量。

表6 不同施肥处理茼蒿品质的影响(以鲜重计)

Table 6 Effect of different ratios of biogas slurry on lettuce quality

处理	可溶性糖 (mg/kg)	氨基酸 (mg/kg)	Vc (mg/100g)	硝酸盐 (mg/kg)
对照	12.0 ± 2.55 a	409.8 ± 123.1 bc	5.20 ± 0.23 a	1 297 ± 164 b
100% 化肥	11.9 ± 2.22 a	582.1 ± 81.9 ab	4.34 ± 0.94 ab	2 006 ± 255 ab
25% 沼液	11.6 ± 1.03 a	459.1 ± 111.6 bc	4.91 ± 0.98 ab	2 462 ± 365 a
50% 沼液	9.3 ± 1.48 ab	518.0 ± 96.8 abc	4.50 ± 0.15 ab	1 734 ± 250ab
75% 沼液	9.2 ± 0.56 ab	662.3 ± 36.6 a	4.39 ± 1.04 ab	1 721 ± 454 ab
100% 沼液	8.6 ± 1.72 b	373.4 ± 59.2 c	3.47 ± 0.83 b	1 779 ± 169.5 ab

### 3 结论

施用沼液和化肥都促进茼蒿生长及养分的吸收。等施 N 量下茼蒿苗期的长势以 100% 化肥处理为最好,同时沼液配施处理茼蒿叶片 N 的含量及吸收量不足,表明高比例沼液替代尿素为基肥影响苗期茼蒿的生长,但莲座期追肥使用沼液,沼液施用比例小于 50% 的处理间相差不大,大于 50% 处理则超过 100% 化肥处理,成熟期各沼液施用处理其生长趋势都好于等 N 量尿素处理,同时连续施用沼液更能促进成熟期茼蒿对 N、P、K 养分的吸收。最终的总产量结果也表明,沼液施用比例 50% ~ 100% 的处理茼蒿产量显著高于纯化肥和对照处理,和沈明星等<sup>[16]</sup>的研究结果相符合,且以沼液施用比例为 75% 处理为最高。不同比例沼液施用处理的各批次产量显示,提高沼液施用比例,可缩短茼蒿的上市时间,提高茼蒿的商品化率。

施用沼液和化肥降低了茼蒿茎部可溶性糖和 Vc 含量,提高了其硝酸盐含量。但等 N 量的沼液和肥料不同比例处理中,100% 沼液施用处理其可溶性糖、Vc 含量和游离氨基酸含量都最低,而 75% 沼液替代化肥 N 施用比例下可获得最高的氨基酸含量、较高的可溶性糖和 Vc 含量。因此结合茼蒿生长趋势和生物量来看,75% 的沼液替代化肥 N 施用比例是最合理的沼液施用比例。

#### 参考文献:

- [1] Zimmels Y, Kirzhner F, Schreiber J. Removal of high organic loads from winery wastewater by aquatic plants. *Water Environment Research*, 2008, 80(9): 806-821
- [2] Ouazzanin N, Bouhoum K, Mandi L, Bouarab L, Habbari K, Rafiq F, Picot B, Bontoux J, Schwartzbrod J. Wastewater treatment by stabilization pond: Marrakesh experiment. *Water Science and Technology*, 1995, 31(12): 75-80
- [3] 张志勇, 刘海琴, 严少华, 郑建初, 常志州, 陈留根. 水葫芦去除不同富营养化水体中氮、磷能力的比较. *江苏农业学报*, 2009, 25(5): 1 039-1 046
- [4] 袁桂良, 刘鹰. 凤眼莲对集约化甲鱼养殖污水的静态净化研究. *农业环境保护*, 2001, 20(5): 322-325
- [5] Zhu J, Zhu X. Treatment and utilization of wastewater in the Beijing Zoo by an aquatic saprophytes system. *Ecological Engineering*, 1998, 11: 101-110
- [6] Marie Luce DC. Large scale production of *Eichhornia crassipes* on paper industry effluent. *Bioresource Technology*, 1995, 54: 35-38
- [7] 盛婧, 郑建初, 陈留根. 水葫芦富集水体养分及其农田施用研究. *农业环境科学学报*, 2009, 28(10): 2 119-2 123
- [8] 倪亮, 孙广辉, 罗光恩, 石伟勇, 陆宏, 叶伟宗. 沼液灌溉对土壤质量的影响. *土壤*, 2008, 40(4): 608-611
- [9] 周文兵, 谭良峰, 刘大会. 凤眼莲及其资源化利用研究进展. *华中农业大学学报*, 2005, 24(4): 423-428
- [10] Polomski RF, Taylor MD, Bielenberg DG. Nitrogen and phosphorus remediation by three floating aquatic macrophytes in greenhouse based laboratory-scale subsurface constructed wetlands. *Water Air and Soil Pollution*, 2009, 197(1/4): 223-232
- [11] 李合生. *植物生理化实验原理和技术*. 北京: 高等教育出版社, 2000: 123-145
- [12] Lee SK, Kader AA. Preharvest and postharvest factors influencing vitamin content of horticultural crops. *Postharvest Biology Technology*, 2000, 20: 207-220
- [13] Mozafar A. Nitrogen fertilizers and the ammonium of vitamins in plants: A review. *Journal of Plant Nutrition*, 1993, 16(12): 2 479-2 506
- [14] 汪吉东, 刘兆普, 郑青松, 刘玲, 潘凤滢. 供氮水平对芦荟幼苗生长、硝酸盐和次生代谢产物含量的影响. *植物营养与肥料学报*, 2006, 12(6): 864-868
- [15] 巨晓棠, 张福锁. 氮肥利用率的要义及其提高的技术措施. *科技导报*, 2003(4): 51-54
- [16] 沈明星, 刘凤军, 施林林, 陆长婴, 陈凤生, 王海侯, 吴彤东. 水葫芦沼液肥对菜薹产量和品质的影响. *江苏农业科学*, 2009(4): 168-169

## Effects of Different Ratios of Biogas Slurry of Water Hyacinth (*Eichhornia crassipes*) Substitute Chemical Nitrogen Fertilizers on Growth and Quality of Lettuce (*L. sativa*)

WANG Ji-dong<sup>1</sup>, MA Hong-bo<sup>1</sup>, GAO Xiu-mei<sup>1,2</sup>, XU Xian-ju<sup>1</sup>, NING Yun-wang<sup>1</sup>, ZHANG Hui<sup>1</sup>, ZHANG Yong-chun<sup>1</sup>

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

2 *College of Resources and Environmental Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China*)

**Abstract:** Field experiment was conducted to explore the effects of different ratios of biogas slurry substitute chemical nitrogen fertilizers on yield, nutrient accumulation and fresh quality of lettuce (*L. sativa*). The results showed that the application of fertilizers and slurry could promote the growth of lettuce. The yields of treatments with 50%, 75% and 100% ratios of slurry were 9.1%, 16.1% and 10.3% respectively higher than that of 100% urea treatment, but chemical fertilizer as the basal got a better effect than slurry while biogas slurry got better growth and higher nutrient absorption as the after manuring compared to chemical N fertilizer. The economic yield increased with the increasing ratio of slurry. Compared to 100% chemical treatment, nitrate contents under biogas slurry application ratio of 50%, 75% and 100% were decreased by 13.6%, 14.3% and 11.3%, respectively. However, soluble sugar, Vc contents and free amino acid concentrations of 100% biogas slurry application were lower but were highest of 75% biogas slurry application. In conclusion, the proportion of 75% slurry application was the best fertilizer ratio.

**Key words:** Water hyacinth, Biogas slurry, Nitrogen fertilizer, Quality