

浓缩沼液配方肥对小白菜生长及土壤特性的影响^①

范蓓蓓, 倪亮, 石伟勇*

(教育部生态健康与环境污染修复重点实验室, 浙江大学环境与资源学院, 杭州 310058)

摘要: 利用盆栽试验种植小白菜, 比较研究施用浓缩沼液配方肥、腐植酸和氨基酸水溶肥及“奥捷”水溶性肥对蔬菜生长和土壤理化性质的影响。结果表明: 与腐植酸、氨基酸水溶肥和“奥捷”水溶肥相比, 施用浓缩沼液配方肥可显著提高小白菜产量及还原型 Vc、可溶性糖等的含量, 抑制硝酸盐积累, 提高土壤过氧化氢酶、脲酶活性和土壤养分含量; 浓缩沼液配方肥配施氨基酸叶面肥模式对小白菜生长和土壤理化性质的改善效果最显著。

关键词: 浓缩沼液; 配方肥; 小白菜; 生长; 土壤特性

中图分类号: S14-33

随着经济的不断发展, 我国面临的能源短缺和环境污染问题也日益加剧。厌氧发酵废弃生物质生产沼气技术不仅能调节气候变化、缓解温室效应^[1], 还可替代部分石油、煤炭等石化燃料, 构建有机物质的循环利用模式^[2-3]。这项农村能源技术在我国特别是农村地区已得到广泛应用与推广, 对于厌氧发酵残留物—沼液和沼渣的处理, 目前最常用的方式是农田消纳, 但沼液的连续排放和季节性用肥需求的矛盾很难解决, 沼液直接排入水体的现象时有发生。由此引发的二次污染已成为环保难题, 制约沼气工程的发展。沼液含有丰富的营养元素、氨基酸、腐植酸、生长素、水解酶、维生素等生物活性物质^[4], 但沼液养分含量低, 直接施用肥效不高, 物流成本大, 也缺乏相应的肥料标准, 因而难以商品化。沼液经过浓缩并参照现有肥料标准重新配方之后, 形成商品化沼液肥料则便于贮藏运输、节约水肥成本, 是一种良好的配方有机肥料。现有研究大多是关于沼液直接作为有机肥施用于农田^[5-7], 缺少将浓缩沼液开发为配方肥的应用探讨。因此, 本文拟以小白菜为供试植物材料, 综合比较几种水溶性肥料与浓缩沼液配方肥料的肥效差异, 及其对小白菜产量、生理生化性质和土壤酶活性、养分含量的影响, 以期为浓缩沼液配方肥的深度开发及推广提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试小白菜品种为矮箕苏州青, 供试土壤为浙江大学紫金港西区农场的黄褐土, 其理化性质: pH 7.59, 有机质 10.5 g/kg, 碱解氮 24.5 mg/kg, 有效磷 19.1 mg/kg, 速效钾 48.9 mg/kg。浓缩沼液为浙江省宁波市象山县某养猪场沼液发酵液, 于 2014 年 4 月 25 日采集。

试验所用有机液体配方肥中, 清水腐植酸配方液肥、清水氨基酸配方液肥、沼液腐植酸配方有机肥、沼液氨基酸配方有机肥均根据农业部液体肥料产品技术指标要求配制(NY1106-2010 和 NY1429-2010), 主要成分及指标含量如表 1。奥捷“沃土”腐植酸水溶肥(农肥(2012)临字 6499 号)、“苗欢”氨基酸水溶肥(农肥(2012)临字 6262 号)由浙江奥捷生物科技有限公司提供。

1.2 试验设计与实施

1.2.1 盆栽试验设计 试验每盆装土 0.55 kg, 施“云河”牌复合肥(总养分>45%, N-P₂O₅-K₂O: 15-15-15) 0.20 g 作基肥, 土肥充分混匀后装盆; 试验以各养分投入量和投入比例相等为标准, 以不施追肥处理为对照, 初步对比研究清水配方肥、沼液配方肥和“奥捷”水溶肥的肥效; 共 11 个处理(表 2), 3 次重复, 完全

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2012BAC17B02)资助。

* 通讯作者(wyshi@zju.edu.cn)

作者简介: 范蓓蓓(1990—), 女, 安徽黄山人, 硕士研究生, 主要从事沼液膜浓缩技术及有机配方肥开发研究。E-mail: fanbeibei093@163.com

表 1 各配方肥的成分及含量
Table 1 Components of formulated fertilizers tested

肥料品种	主要配方
清水腐植酸配方液肥(大量元素型)	尿素 300 g/L ; K ₂ HPO ₄ ·3H ₂ O 200 g/L ; KNO ₃ 25 g/L ; 腐植酸原粉 80 g/L ; 纯水
清水氨基酸配方液肥(中量元素型)	Ca(NO ₃) ₂ 20 g/L ; Mg(NO ₃) ₂ ·7H ₂ O 10 g/L ; 氨基酸粉(氨基酸 100 g/L) ; 纯水
沼液腐植酸配方有机肥(大量元素型)	尿素 300 g/L ; K ₂ HPO ₄ ·3H ₂ O 200 g/L ; KNO ₃ 25 g/L ; 腐植酸原粉 80 g/L ; 沼液 10 倍浓缩液
沼液氨基酸配方有机肥(中量元素型)	Ca(NO ₃) ₂ 20 g/L ; Mg(NO ₃) ₂ ·7H ₂ O 10 g/L ; 氨基酸粉(氨基酸 100 g/L) ; 沼液 10 倍浓缩液
奥捷“沃土”腐植酸液肥(大量元素型、高氮型)	尿素 300 g/L ; K ₂ HPO ₄ ·3H ₂ O 200 g/L ; KNO ₃ 25 g/L ; 腐植酸原粉 80 g/L ; 其他添加成分等
奥捷“苗欢”氨基酸液肥(中量元素型)	Ca(NO ₃) ₂ 20 g/L ; Mg(NO ₃) ₂ ·7H ₂ O 10 g/L ; 小龙虾氨基酸降解液(氨基酸 100 g/L) ; 其他添加成分等

表 2 不同施肥处理及施肥量
Table 2 Dasages of the tested fertilizers for each treatment

处理	CK	清水配方液肥			沼液配方有机肥			“奥捷”水溶性肥		
		G1	Y1	GY1	G2	Y2	GY2	G3	Y3	GY3
基肥	0.20 g	0.20 g	0.20 g	0.20 g	0.20 g	0.20 g	0.20 g	0.20 g	0.20 g	0.20 g
冲施肥(腐植酸型、大量元素型)	-	20.0 ml	-	10.0 ml	20.0 ml	-	10.0 ml	20.0 ml	-	10.0 ml
叶面肥(氨基酸型、中量元素型)	-	-	20.0 ml	10.0 ml	-	20.0 ml	10.0 ml	-	20.0 ml	10.0 ml

随机排列。腐植酸冲施肥和氨基酸叶面肥均为稀释 250 倍后喷施。供试小白菜于 2014 年 6 月 12 日播种，6 月 18 日定苗，每盆定苗 3 棵，待第 3 片真叶长出时(播种后第 12 天)开始第一次追肥，之后每隔 5 天追肥一次，共追施 3 次，7 月 8 日采收。

1.2.2 样品的采集与处理 植株样品于 2014 年 7 月 8 日成熟后采收地上部分，称鲜重后于 70℃ 杀青 30 h，50℃ 烘干至恒重并研磨。土壤酶活性于每次施肥前及植株收获前在盆栽 2 cm 深处取新鲜土样测定，土壤养分含量于植株收获后取风干混匀并过筛(20 目、100 目)的土样测定。

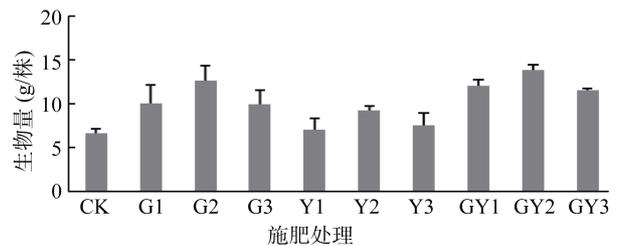
1.2.3 测定方法 植株可溶性糖含量采用蒽酮比色法测定^[8]；硝酸盐含量采用双波长紫外分光光度法测定^[9]；Vc 含量采用 2,6-二氯酚法测定^[10]；植株经 H₂SO₄-H₂O₂ 消煮，采用碱解扩散法测定全氮含量，钼黄比色法测定全磷含量，火焰光度法测定全钾含量^[10]。土壤过氧化氢酶活性采用高锰酸钾滴定法测定^[11]；脲酶活性采用苯酚钠比色法测定^[12]；速效氮含量采用碱解扩散法测定^[10]；有效磷含量采用 NaHCO₃ 浸提、钼蓝比色法测定^[10]；速效钾含量采用 NH₄OAc 浸提、火焰光度法测定^[10]；有机质含量采用稀释热法测定^[10]。

试验数据采用 DPS7.05 进行统计分析并对结果进行 LSD 差数法多重比较。

2 结果与分析

2.1 浓缩沼液配方肥对小白菜鲜重产量的影响

从图 1 可见，施用沼液腐植酸冲施肥处理(G2)的小白菜生物量为 12.6 g，相比 CK 处理的增产效果达到极显著水平，同时也高于施用清水腐植酸肥(G1)和奥捷“沃土”腐植酸肥(G3)的产量，说明沼液中含有其他配方肥所不具有的生物活性物质^[13-15]，如吡啶乙酸，在一定程度上促进了植物生根和叶片发育，致使沼液腐植酸肥对小白菜的增产作用更明显。



(图中误差线表示标准差，下同)

图 1 不同施肥处理对小白菜鲜重产量的影响
Fig. 1 Effects of different fertilizers on biomass of pakchoi

施用沼液氨基酸叶面肥(Y2)的小白菜比施用清水氨基酸肥(Y1)和奥捷“苗欢”氨基酸肥(Y3)增产 23.3%。但是在小白菜生长后期出现了叶片黄化，叶脉紫红等缺素症状。说明单一补充中量元素对于小白菜生物产量的增加作用有限，保证作物生长期大量元素的供应才能更好地增产增收。

由于冲施肥含有的腐植酸、大量元素与叶面肥含有的氨基酸、中量元素交互作用,其效果表现为浓缩沼液冲施肥叶面肥配合施用(GY2)的小白菜单株生物量高于清水冲施肥叶面肥混施处理(GY1)和奥捷“苗欢”“沃土”混施处理(GY),最高生物量达 13.8 g。同时,相比于 CK 处理也有极显著水平的增产效果。

2.2 浓缩沼液配方肥对小白菜养分含量的影响

由表 3 可知,施用沼液腐植酸冲施肥(G2)后,除了小白菜全磷含量显著高于清水腐植酸冲施肥处理(G1)之外,小白菜全氮、全磷、全钾的含量相比于施用清水腐植酸肥(G1)和奥捷“沃土”腐植酸肥(G3)的处理并无显著提高,全氮含量甚至显著低于施用奥捷“沃土”腐植酸肥。这可能是由于施用沼液配方肥

的小白菜生物量更高,由此产生的稀释效应导致大量元素在植株体内分布更为扩散,因而植株氮磷钾含量偏低。但是沼液腐植酸冲施肥却能显著提高小白菜还原型 Vc 和可溶性糖含量,分别达到 94.0 g/kg 和 18.9 g/kg。人体摄入的硝酸盐 70.0%~80.0% 来自农产品^[16],正常情况下从农产品吸收的硝酸盐可转化为氨和氨基酸等营养物质,但过量硝酸盐进入人体后易生成亚硝酸盐,危害人体健康^[17]。施用沼液腐植酸冲施肥的小白菜中硝酸盐含量与 CK 处理无显著差异,根据国家农产品安全质量——无公害蔬菜安全要求(GB18406.1-2001)叶菜类作物的硝酸盐含量应控制在 3 000 mg/kg 以内。施用沼液腐植酸肥后小白菜硝酸盐含量远低于此限量标准,说明其不会产生硝酸盐积累危害。

表 3 不同施肥处理对小白菜养分含量的影响
Table 3 Effect of different fertilizers on nutrient contents in pakchoi

处理	全氮 (g/kg)	全磷 (g/kg)	全钾 (g/kg)	还原型 Vc (mg/kg)	可溶性糖 (mg/kg)	硝酸盐 (mg/kg)
CK	33.0 ± 1.7 de	6.12 ± 0.13 cde	22.4 ± 0.9 c	67.7 ± 0.8 ef	16.4 ± 0.1 e	1 627 ± 19 cde
G1	36.0 ± 2.7 cd	5.85 ± 0.32 de	22.8 ± 0.5 bc	80.7 ± 2.1 de	16.2 ± 0.4 e	1 519 ± 24 ef
G2	37.5 ± 1.5 bc	7.00 ± 0.58 b	28.0 ± 0.0 b	94.0 ± 4.7 bc	18.9 ± 1.0 d	1 644 ± 52 de
G3	41.6 ± 1.8 a	6.31 ± 0.01 bcd	23.2 ± 1.2 bc	70.0 ± 2.9 ef	11.8 ± 0.1 g	2 839 ± 67 b
Y1	28.8 ± 2.5 f	5.45 ± 0.09 e	22.8 ± 0.6 bc	98.7 ± 3.0 b	25.8 ± 1.4 b	1 359 ± 38 f
Y2	29.5 ± 0.3 ef	5.69 ± 0.07 de	23.4 ± 1.1 bc	114 ± 2 a	28.8 ± 1.8 a	1 549 ± 26 cde
Y3	32.1 ± 0.6 ef	5.67 ± 0.03 de	22.2 ± 0.3 c	101 ± 3 ab	23.0 ± 1.3 c	1 657 ± 55 cde
GY1	44.6 ± 2.4 a	6.73 ± 0.67 bc	27.5 ± 2.5 bc	58.3 ± 1.5 f	13.7 ± 0.5 fg	1 679 ± 19 cd
GY2	42.5 ± 1.1 a	7.85 ± 0.33 a	33.4 ± 0.9 a	84.7 ± 3.5 cd	20.1 ± 1.9 d	1 839 ± 65 c
GY3	41.1 ± 1.9 ab	5.74 ± 0.21 de	24.5 ± 1.1 bc	68.0 ± 1.0 ef	15.2 ± 0.3 ef	4 424 ± 104 a

注:表中“±”后的数值为标准差,同列数据后的不同小写字母表示处理间差异在 $P < 0.05$ 水平显著,下同。

由于叶面肥中未添加大量元素,所以施用沼液氨基酸叶面肥(Y2)后,小白菜氮磷钾含量均偏低,与施用清水氨基酸肥处理(Y1)、奥捷“苗欢”氨基酸肥(Y3)处理和 CK 处理仍无差异。但施用沼液氨基酸叶面肥后小白菜还原型 Vc 和可溶性糖含量的到达了最高水平,相比 CK 处理分别提高了 68.5% 和 43.1%,效果极其显著。同时也没有产生硝酸盐积累的危害。

沼液冲施肥叶面肥配合施用(GY2)下小白菜的磷、钾含量分别达 7.85 g/kg 和 33.4 g/kg,相比清水冲施肥叶面肥混施处理(GY1)和奥捷“苗欢”“沃土”混施处理(GY3)提高显著。全氮含量虽与 GY1、GY3 处理无差异,但相比 CK 处理提高了 29.0%,说明沼液冲施肥叶面肥配合施用对小白菜的全氮含量也有增加效果。同时,小白菜的还原型 Vc 和可溶性糖含量也显著提高,硝酸盐含量与空白处理无显著差异。

2.3 浓缩沼液配方肥对土壤酶活性的动态影响

土壤过氧化氢酶能促进过氧化氢的分解以防止它对生物体的毒害作用,过氧化氢酶活性与土壤有机质含量和微生物的数量呈正相关^[11]。脲酶广泛分布于土壤中,其酶促产物——氨是植物氮源之一。脲酶活性常用来表征土壤的氮素状况,对于提高氮肥利用率和土壤氮素代谢有着重要意义^[18-19]。

随着培养时间的增加,土壤过氧化氢酶和脲酶的活性均呈增加趋势(图 2、图 3)。从第 21 天开始,施用沼液腐植酸冲施肥(G2)的土壤中过氧化氢酶活性显著高于施用清水腐植酸肥(G1)和奥捷“沃土”腐植酸肥(G3)的处理,在培养第 26 天酶活性增量达到最大值 8.7%。同时施用沼液冲施肥的土壤在培养 21 天脲酶活性显著提高,增幅远高于 G1、G3 处理。

施用沼液氨基酸叶面肥(Y2)对于过氧化氢酶活性并无明显提高效果,与 CK 处理无显著差异。而其对于土壤脲酶活性的影响表现在培养第 26 天,虽然施用

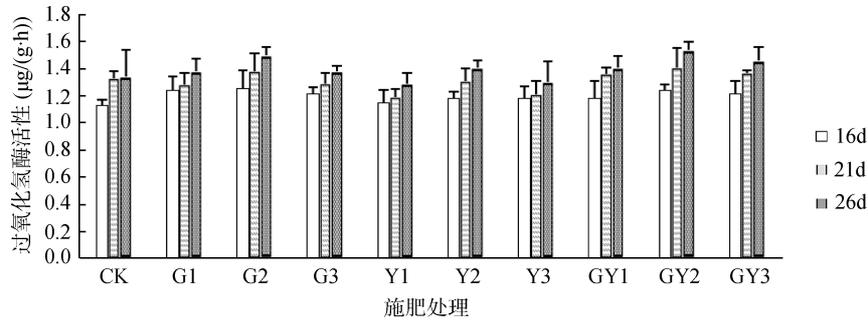


图 2 不同施肥处理对土壤过氧化氢酶活性的影响
Fig. 2 Effects of different fertilizers on soil catalase activity

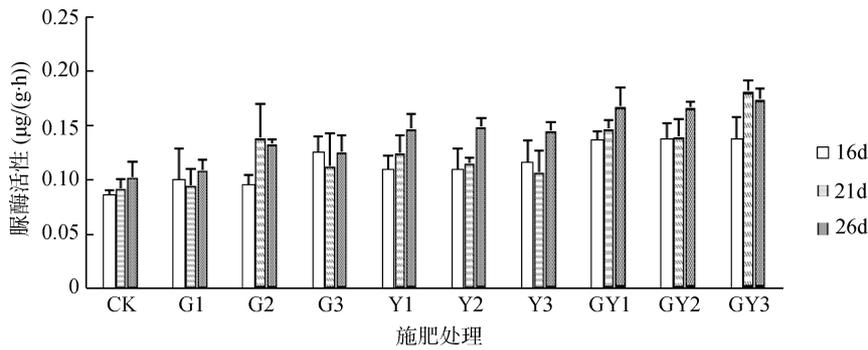


图 3 不同施肥处理对土壤脲酶活性的影响
Fig. 3 Effects of different fertilizers on soil urease activity

沼液氨基酸叶面肥(Y2)后土壤脲酶活性与施用清水氨基酸叶面肥(Y1)和奥捷“苗欢”叶面肥(Y2)差异不大,但是相比 CK 处理提高了 45.0%,效果极其显著。

沼液冲施肥叶面肥配合施用模式(GY2)最有利于提高过氧化氢酶活性,其活性最高时可达 1.54 µg/(g·h)。相比于施用清水配方肥和“奥捷”水溶肥的处理,配合施用沼液冲施肥叶面肥对土壤脲酶的活性影响也不大。但是相比于 CK 处理,该施肥模式能使土壤脲酶活性提高 63.7%,说明合理施肥对土壤脲酶活性的提高效果更显著。

2.4 浓缩沼液配方肥对土壤理化性质的影响

不同施肥处理下,土壤碱解氮、有效磷、速效钾、有机质含量的差异并没有达到显著水平(表 4)。但是施用沼液腐植酸冲施肥(G2)后,土壤各养分含量高于清水腐植酸冲施肥(G1)和奥捷“沃土”腐植酸冲施肥(G3)处理,其中有机质的含量达 10.8 g/kg,显著高于 CK 处理。

施用沼液氨基酸叶面肥(Y2)后 相比于 CK 处理,土壤碱解氮、有效磷、速效钾的含量略有下降。因为所施用的叶面肥为中量元素型,缺乏大量元素的供应,所以小白菜生长所需的氮、磷、钾均从土壤中吸

表 4 不同施肥处理对土壤理化性质的影响
Table 4 Effect of different fertilizers on selected soil physico-chemical properties

处理	碱解氮(mg/kg)	有效磷(mg/kg)	速效钾(mg/kg)	有机质(g/kg)
CK	29.3 ± 0.2 a	19.5 ± 2.0 bc	44.6 ± 1.1 ab	8.71 ± 0.98 d
G1	31.5 ± 0.5 a	19.0 ± 0.9 bc	45.1 ± 2.9 ab	10.1 ± 0.3 abc
G2	32.2 ± 1.4 a	23.5 ± 2.7 ab	46.0 ± 1.3 ab	10.8 ± 1.9 ab
G3	29.5 ± 0.7 a	20.5 ± 1.3 bc	42.5 ± 0.9 ab	10.8 ± 0.7 ab
Y1	25.2 ± 2.1 a	19.0 ± 0.9 c	41.6 ± 1.9 b	9.02 ± 0.79 cd
Y2	26.1 ± 3.5 a	18.9 ± 0.5 bc	42.1 ± 1.4 b	9.56 ± 1.01 bcd
Y3	28.2 ± 1.8 a	23.6 ± 1.7 ab	42.6 ± 2.0 ab	9.40 ± 0.37 cd
GY1	27.8 ± 1.0 a	22.6 ± 2.1 abc	41.6 ± 0.9 b	10.0 ± 1.9 abc
GY2	31.9 ± 1.0 a	26.5 ± 0.9 a	54.6 ± 3.0 a	11.2 ± 0.9 a
GY3	30.4 ± 0.6 a	24.0 ± 1.2 ab	44.0 ± 2.4 ab	10.8 ± 1.4 ab

收,从而导致土壤养分下降。而土壤有机质含量相比 CK 处理也没有明显提高。

配合施用沼液冲施肥叶面肥(GY2)时土壤碱解氮、有效磷、速效钾、有机质含量相比 CK 处理分别提高了 8.87%、35.9%、22.4%、28.6%,同时也高于 GY1、GY3 处理。由于小白菜生长期只有 27 天,短时间内各施肥方式难以使土壤养分含量产生质变,但施用沼液配方肥处理已经在量的程度上表现出优势。已有研究发现,沼液中含有的难以降解和未完全降解的有机物进入土壤后,经过一定的时间在众多微生物作用下慢慢分解,最终转变为土壤有机质,所以向土壤中施用沼液肥能够促进有机质分解,增加土壤有机质含量^[20],长期施用能够显著提高土壤肥力^[21-22]。由此,推测长期施用沼液配方肥后,土壤养分含量也能有显著水平的增加。

现有研究表明,沼液中含有的营养物质和生长素、赤霉素、维生素等生物活性物质,能够促进植物根系发育,有助于植物体内的物质转换和代谢,改善作物品质,增强植株的抗病能力^[4,13]。长期施用沼液能加快土壤中微生物分解转化氮、磷、钾等迟效养分,利于作物吸收,提高产量^[23]。这与本试验结论一致。综上所述,浓缩沼液氨基酸肥、腐植酸肥的综合肥效优于清水配方肥和“奥捷”水溶肥,是良好并且安全的配方有机肥。同时,沼液腐植酸冲施肥、氨基酸叶面肥配合施用模式对小白菜的生长和土壤理化性质的改良效果最显著,是一种科学合理的施肥模式。

3 结论

相比于清水配制的腐植酸和氨基酸水溶性肥及“奥捷”水溶肥,施用浓缩沼液配方肥能显著提高小白菜的产量及还原型 Vc、可溶性糖等养分含量,抑制硝酸盐积累。施用沼液腐植酸冲施肥和配合施用沼液冲施肥叶面肥两种施肥方式对于小白菜产量、氮磷钾含量的增加效果更好,而施用沼液氨基酸叶面肥更利于提高还原型 Vc、可溶性糖含量,降低硝酸盐含量。施用沼液配方有机肥还能显著提高土壤过氧化氢酶、脲酶活性,提高土壤肥力,并且随着施肥次数增加,酶活性呈增加趋势。冲施肥叶面肥配合施用模式下,酶活性更高,土壤养分含量增加明显。

参考文献:

[1] Clemens J, Trimbom M, Weiland P, Amon B. Mitigation of greenhouse gas emissions by anaerobic digestion of cattle slurry[J]. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 2006, 112: 171-177

[2] Bath B, Ramert B. Organic household wastes as a nitrogen source in leek production[J]. *Acta Agriculture Scandinavica Section B: Soil and Plant Science*, 2000, 49: 201-208

[3] Nyberg K, Sundh I, Johansson M, Schnurer A. Presence of potential ammonia oxidation (PAO) inhibiting substances in anaerobic digestion residues[J]. *Applied Soil Ecology*, 2004, 26: 107-112

[4] 骆林平, 张妙仙, 单胜道. 沼液肥料及其利用研究现状[J]. *浙江农业科学*, 2009(5): 977-978

[5] 杨琴. 沼液农用对油菜产量、品质及土壤质量的影响研究[D]. 成都: 四川农业大学, 2011

[6] 陈永杏, 董红敏, 陶秀萍, 尚斌. 猪场沼液灌溉冬小麦对土壤质量的影响[J]. *中国农学通报*, 2011, 27(3): 154-158

[7] 武立叶, 郑佩佩, 赵吉祥, 王贵彦. 沼液灌溉对大白菜产量、品质及土壤养分含量的影响[J]. *中国沼气*, 2014, 32(3): 90-93

[8] 鲍士旦. 农畜水产品品质化学分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 1996, 159-226

[9] 蔡顺香. 紫外分光光度法快速测定蔬菜中的硝酸盐含量[J]. *福建农业学报*, 2005, 20(2): 125-127

[10] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 25-114, 263-268, 359-363

[11] 许光辉, 郑宏元. 土壤微生物分析方法手册[M]. 北京: 农业出版社, 1986: 255-258

[12] 姚槐应, 黄昌勇. 土壤微生物生态学及其实验技术[M]. 北京: 科学出版社, 2006: 52-70

[13] 沈其林, 单胜道, 周健驹, 王志荣. 猪粪发酵沼液成分测定与分析[J]. *中国沼气*, 2014, 32(3): 83-86

[14] 霍翠英, 吴树彪, 郭建斌, 程辉彩, 任虹, 董仁杰, 庞昌乐. 猪粪发酵沼液中植物激素及喹啉酮类成分分析[J]. *中国沼气*, 2011, 29(5): 7-10

[15] 杨静, 徐秀银. 施用沼液对生菜产量及土壤质量的影响[J]. *中国沼气*, 2013, 31(6): 51-54

[16] 宾士友, 阮月燕, 蔡耕鸣. 广西蔬菜水果硝酸盐含量状况与控制措施[J]. *广西农学报*, 2006, 21(1): 23-25

[17] Nielsen RD, MacDonald JG. Nitrogen in the Environment I. Nitrogen behavior in Field Soil[M]. New York, USA: Academic Press, 1978: 235-252

[18] 李振高, 骆永明, 滕应. 土壤与环境微生物研究法[M]. 北京: 科学出版社, 2008: 395-404

[19] 向泽宇, 王长庭, 宋文彪, 四郎生根, 呷绒仁青, 达瓦泽仁, 扎西罗布. 草地生态系统土壤酶活性研究进展[J]. *草业科学*, 2011, 28(10): 1 801-1 806

[20] 李文涛. 沼液对土壤改良作用研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2013

[21] Garg RN, Pathak H. Use of flash and biogas slurry for improving wheat yield and physical properties of soil[J]. *Environmental Monitoring Assessment*, 2005, 107: 1-9

[22] 陈超, 阮志勇, 吴进, 高立洪, 宋金龙, 王彦伟, 徐彦胜, 韦秀丽, 徐凤花. 规模化沼气工程沼液综合处理与利用的研究进展[J]. *中国沼气*, 2013, 31(1): 25-28

[23] 黄界颖, 伍震威, 高连芬, 唐晓菲, 马友华, 郑斌. 沼液对土壤质量及小白菜产量品质的影响[J]. *安徽农业大学学报*, 2013, 40(5): 849-854

Effects of Concentrated Slurry Fertilizers on Pakchoi Growth and Soil Quality

FAN Bei-bei, NI Liang, SHI Wei-yong*

(Key Laboratory of Polluted Environment Remediation and Ecological Health, Ministry of Education, College of Environmental and Resource Sciences, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China)

Abstract: Pot experiment was conducted to characterize the effects of concentrated slurry in formulated fertilizers on the growth of pakchoi and improvement of soil quality, comparing to concentrated slurry fertilizer, water formulated fertilizer and “Aojie” water-soluble fertilizer. Results showed that the biomass, ascorbic acid and soluble sugar of pakchoi were significantly improved by using formulated fertilizers made from concentrated slurry compared with formulated fertilizers made from water and water-soluble fertilizers from Aojie company. After fertilizing, the nitrate contents didn't accumulated, but the catalase, urease and the nutrients in soil were significantly improved. Simultaneously using the basal and foliar fertilizers made by concentrated slurry had the best performance on pakchoi growth and soil quality.

Key words: Concentrated slurry; Formulated fertilizers; Pakchoi; Growth; Soil quality