



黄翔,洪娟,陈钢,等.不同沼肥施用量对水稻生长和产量及其重金属含量的影响[J].黑龙江农业科学,2019(4):25-29.

不同沼肥施用量对水稻生长和产量及其重金属含量的影响

黄翔¹,洪娟^{1,2},陈钢^{1,2},练志诚¹,杜雷¹,王素萍¹,张利红¹,叶莉霞^{1,2}

(1. 武汉市农业科学院,湖北 武汉 430000;2. 华中农业大学资源与环境学院,湖北 武汉 430070)

摘要:沼肥是一种优质的有机肥料,含有植物生长所需的多种营养元素,将其安全有效地应用于农业生产对降低环境污染和提高产量有着重要的意义。在田间小区试验条件下,以籼稻黄华占为试验材料,研究不同体积的沼肥施用量对水稻生长发育、养分含量和产量及其重金属含量的影响。结果表明:以沼肥作基肥,追施复合肥对水稻生长株高、茎叶生长及养分含量均有一定影响,水稻产量最高可达 $562.03 \text{ kg} \cdot 667 \text{ m}^2$ 。同时,当沼肥施用量较高时,会增加收获籽粒中的重金属含量。

关键词:沼肥;籼;产量;重金属

沼渣、沼液合并称为沼肥,是生物质经过沼气池厌氧发酵的产物,沼液占总肥量的 88% 左右,沼渣占总肥量的 12% 左右^[1]。大量研究表明,沼液中含有丰富的氮、磷、钾、钠、微量元素、氨基酸、B 族维生素、各种水解酶、植物生长素等,其养分可利用率高,能迅速被作物吸收利用,是一种多元速效复合肥料^[2-3]。而沼渣中除含有上述成分外,还含有丰富的有机质(30% ~ 50%)、腐殖酸(10% ~ 20%)、粗蛋白等植物生长所需的次生代谢物^[4]。种植土壤施用沼肥可以有效改善土壤环境^[5-6],增强植株抗病虫害能力^[7],促进作物增产^[8-10],在农业生产中常用于浸种^[11]、叶面施肥^[12]、种植蔬菜和小麦^[13-14]等。近几年,随着市场经济的不断调整,禽畜养殖业进入了快速发展的时代,产业发展的同时也带来沼渣和沼液的大量产生,如若不合理的处理排放,环境污染问题在所难免。另一方面,农业种植成本不断上涨,而农业产品价格增长幅度不明显,农业种植利润徘徊不前。再加上现阶段大面积农村土地流转较为普遍,批量式施用沼肥种植已经成为可能。因此,为

了更好地安全施用沼肥,武汉中粮肉食品有限公司采用加压泵和铺设管道技术,将发酵好的沼肥通过增压管道输入田间进行利用,这样不但可以节省运输成本,解决企业沼渣沼液储存难题,缓解生产废弃物不合理排放而带来的二次污染,还可以减少生产用工,降低种植成本,增加农业收入。以往大量研究中经常均采用不同质量的沼肥对作物的影响进行研究比较,而在实际生产应用中却以体积指标来衡量沼肥的施用量。因此,本文以大田水稻为研究对象,探讨不同体积量的沼肥,对水稻生长发育、养分含量和产量,以及籽粒中重金属含量的影响,以确定合理的沼肥体积施用量,为实际生产中沼肥的标准化合理化应用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验地点及条件

试验于 2017 年湖北省大冶市茗山乡试验田进行。茗山乡位于 $N30^{\circ} \sim 30^{\circ}04'50''$, $E114^{\circ}4' \sim 11^{\circ}48'50''$,属大陆性季风型气候,四季分明,光照充足,热量丰富,雨量充沛。年平均气温 17°C 左右,最高气温 40.1°C ,最低气温 -10°C ,无霜期 261 d,年最大降雨量 1 929.4 mm。供试土壤为水稻土,基础肥力为 pH6.16,有机质 $10.81 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,碱解氮 $89.24 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,速效磷 $19.28 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,速效钾 $39.17 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

1.2 材料

供试水稻品种为籼稻黄华占。供试沼肥为武

收稿日期:2018-10-29

基金项目:武汉市科学技术局资助项目(2017020899010100);武汉中粮肉食品有限公司科研基金。

第一作者简介:黄翔(1982-),男,硕士,高级农艺师,从事新型肥料的研发和推广。E-mail:huangxiang@webmail.hzau.edu.cn。

通讯作者:陈钢(1959-),女,博士,正高级农艺师,从事植物养分高效管理及土壤监测调控研究。E-mail:chengang@webmail.hzau.edu.cn。

汉中粮肉食品有限公司茗山沼气站,以猪粪、养殖废水和养殖废弃物为发酵原料经厌氧发酵而成,其养分指标为:pH8.25,有机质 18.22 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$,总氮 1.35 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$,总磷 52.7 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$,总钾 3.99 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$,氨氮 1.17 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$,铅 $<0.01\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,镉 0.008 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$,铬 $<0.004\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,汞 $1.2\times10^{-4}\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,砷8.8 $\times10^{-3}\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。

1.3 方法

1.3.1 试验设计 所用化学肥料为复合肥(K_2SO_4 型,中化生产)加硅肥, $\text{N}:\text{P}_2\text{O}_5:\text{K}_2\text{O}=15:15:15$,养分含量 $\geq 45\%$,硅肥(有效硅 $\text{SiO}_2\geq 20\%$)。沼肥与化学肥料配合施用试验共 5 个处理,处理 1:清水对照(CK),化学肥料作追肥(复合肥 225 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,硅肥 30 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$);处理 2:沼肥作基肥(225 $\text{m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$),化学肥料作追肥(复合肥 225 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,硅肥 30 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$);处理 3:沼肥作基肥(300 $\text{m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$),化学肥料作追肥(复合肥 225 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,硅肥 30 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$);处理 4:沼肥作基肥(375 $\text{m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$),化学肥料作追肥(复合肥 225 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,硅肥 30 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$);处理 5:沼肥作基肥(450 $\text{m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$),化学肥料作追肥(复合肥 225 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,硅肥 30 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$);基肥在试验前冬季施入,追肥在水稻分蘖前期施入。每个试验小区 20 m^2 ,重复 3 次,共计 15 个试验小区,完全随机区组排列。试验小区采取直播方式,每小区播种量一致,为 0.15 kg,小区其余田间管理按常规进行。

1.3.2 调查项目及方法 从水稻进入分蘖期开始,分别在水稻分蘖前期(7 月 9 日)、分蘖中期(7 月 31 日)、分蘖后期(8 月 16 日)、孕穗期(9 月 1 日)和收获期(9 月 30 日),在不同沼肥处理区挑选长势中等植株 10 株,带回试验室洗净擦拭干净后,用皮尺量取植株株高,用天平称量植株鲜重。在 75 $^{\circ}\text{C}$ 下烘干至恒重,称量,磨碎封存,做水稻植株养分含量分析^[15]。

在水稻收获期,在每个小区进行单收单打,考察每个小区的单产量、水稻千粒鲜重和千粒干重。稻谷去壳后测试米粒中重金属 Pb、Cd、Cr、Hg 和 As 含量。采用微波消解仪(新仪 JP-100)进行前处理,Pb、Cd 和 Cr 采用 Thermo icp-6000 型电感耦合等离子体质谱测定。Hg 和 As 采用北京普析通用 PF3 型原子荧光测定。

1.3.3 数据分析 试验数据采用 Microsoft Ex-

cel 2007、SAS 9.0 和 Origin 8.0 等软件进行分析、统计和绘图。

2 结果与分析

2.1 不同沼肥施用量对水稻生长的影响

2.1.1 不同沼肥施用量对水稻株高的影响 株高是水稻品种的重要农艺性状之一,直接影响水稻品种的丰产潜力和抗倒伏性^[16]。不同沼肥施用量对水稻株高的影响如图 1 所示。在水稻生长前期(播种到 7 月上旬),不同沼肥处理的小区水稻株高已经有明显差异(图 1)。分蘖后期(8 月 16 日),不同处理中,处理 2 小区水稻株高最高(98.70 cm),对照(CK)最低为 74.08 cm。不同处理间大小规律为:处理 2>处理 4>处理 3>处理 5>对照(CK)。进入孕穗期后(8-9 月),除对照(CK)外,各施肥处理的小区水稻株高没有显著差异(图 1)。收获期(9 月 30 日),不同施肥处理间株高差异性显著。此时,处理 2 小区水稻株高达到最高值,为 122.8 cm,其次是处理 3(117.7 cm)和处理 4(112.0 cm),处理 5(105.5 cm),对照小区水稻株高最矮(100.3 cm)。

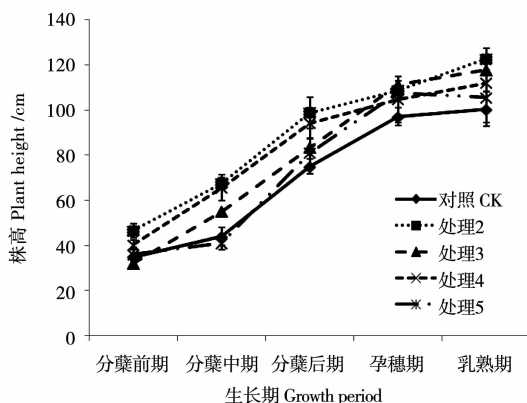


图 1 不同沼肥施用量对水稻株高的影响

Fig. 1 Effect of different biogas fertilizer application amount on plant height of rice

2.1.2 不同沼肥施用量对水稻茎叶生物量的影响 由表 1 中可知,各处理茎叶鲜重都随着生长期的变化呈现出先增加后减小的趋势,且处理 4 在分蘖后期单株茎叶鲜重达到各处理最大值,为 238.69 $\text{g}\cdot\text{株}^{-1}$,对照(CK)和处理 5 较为接近,与其他处理相比差异显著。茎叶干重方面的变化趋势与鲜重较为接近,在水稻的整个生育期,处理 2、处理 3 和处理 4 单株茎叶干重一直不断上升,处理 3 略高于其他处理,至收获期,与对照相比,干重显著提高 5.31 倍。

表 1 不同沼肥施用量对水稻茎叶生物量的影响

Table 1 Effect of different biogas fertilizer application amount on biomass in stems and leaves of rice

处理 Treatments	单株茎叶鲜重 Fresh weight of stem and leaf per plant/g					单株茎叶干重 Dry weight of stem and leaf per plant/g				
	分蘖前期	分蘖中期	分蘖后期	孕穗期	收获期	分蘖前期	分蘖中期	分蘖后期	孕穗期	收获期
	The	The	The	Booting	Harvesting	The	The	The	Booting	Harvesting
	early of tillering	middle of tillering	late of tillering	stage	time	early of tillering	middle of tillering	late of tillering	stage	time
1(CK)	2.99 c	17.37 b	51.82 c	51.32 c	33.42 c	1.50 c	2.86 d	7.49 b	15.12 c	11.93 c
2	9.70 b	53.53 a	192.35 a	116.61 bc	107.12 b	2.52 b	12.34 a	31.09 a	34.27 ab	52.23 ab
3	14.20 a	47.41 a	225.58 a	157.29 a	176.98 a	4.07 a	9.50 b	35.20 a	47.78 a	75.22 a
4	11.62 a	43.93 a	238.69 a	147.47 ab	155.20 a	3.52 ab	8.82 b	42.27 a	45.70 a	62.55 a
5	2.99 c	17.18 b	94.79 b	79.51 c	43.15 c	1.34 c	5.72 c	16.89 b	22.26 bc	21.96 bc

同列数据后不同小写字母表示 5%差异显著水平。下同。
The different lowercase in the same column indicate significant difference at 0.05 level. The same below.

2.2 不同沼肥施用量对水稻茎叶养分含量的影响

由表 2 可知,在水稻的整个生育期内,虽然不同处理茎叶氮含量达到最大值的时期不同,但整体上看均表现出先升后降的趋势。分蘖前期,不同沼肥处理的氮含量显著高于对照(CK),但随着生长周期的延长,不同处理氮含量的差异也在逐渐缩小。至收获期,对照(CK)、处理 4 和处理 5 茎叶的氮含量较为接近,处理 2 和处理 3 显著于其他处理。

从分蘖前期开始至收获期结束。不同处理茎叶中的磷含量变化不大,含量大致在 0.15%~

0.36%。在水稻生长前期(分蘖前期至孕穗期)茎叶的磷含量,沼肥处理与对照差异明显,收获期各处理茎叶中磷含量处于相同水平(表 2)。

钾是植物体内细胞中含量最丰富的阳离子之一,对生物体具有重要的生理功能^[17]。从表 2 可以看出,水稻茎叶的钾含量明显高于氮和磷,且钾含量也体现出先升后降变化趋势,但与氮含量变化也有不同之处。分蘖前期,不同沼肥处理的钾含量差异性显著,且处理 4 最低(1.82%);随着生长周期的延长,不同处理钾含量的差异性没有出现缩小的趋势,反而差距加大。至收获期,各处理钾含量排列为处理 3>处理 2>处理 5>处理 4>对照(CK)。

表 2 不同沼肥施用量对水稻茎叶养分含量的影响

Table 2 Effect of different biogas fertilizer application amount on nutrient content in stems and leaves of rice

处理 Treatments	氮含量 Nitrogen content					磷含量 Phosphorus content					钾含量 Potassium content				
	分蘖前期	分蘖中期	分蘖后期	孕穗期	收获期	分蘖前期	分蘖中期	分蘖后期	孕穗期	收获期	分蘖前期	分蘖中期	分蘖后期	孕穗期	收获期
	前期	中期	后期	孕穗期	收获期	前期	中期	后期	孕穗期	收获期	前期	中期	后期	孕穗期	收获期
1(CK)	0.83 e	0.64 d	1.01 d	0.60 c	0.48 b	0.23 b	0.26 a	0.30 b	0.18 b	0.19 a	2.01 c	2.03 b	3.44 b	2.36 c	2.18 e
2	1.09 d	1.24 c	1.59 b	0.70 b	0.63 a	0.23 b	0.26 a	0.30 b	0.24 a	0.20 a	2.28 b	2.24 a	3.05 c	3.50 a	3.41 b
3	1.90 a	1.84 a	1.71 a	0.83 a	0.74 a	0.27 a	0.21 b	0.36 a	0.15 b	0.19 a	1.85 d	2.01 b	3.82 a	3.50 a	4.03 a
4	1.30 c	1.51 b	0.91 e	0.73 b	0.45 b	0.18 b	0.26 a	0.31 b	0.20 ab	0.19 a	1.82 e	2.15 ab	3.20 c	3.45 a	3.02 d
5	1.44 b	1.32 c	1.33 c	0.53 c	0.40 b	0.20 b	0.20 b	0.31 b	0.16 b	0.19 a	2.47 a	1.96 b	3.59 b	3.24 b	3.28 c

2.3 不同沼肥施用量对水稻产量的影响

由表 3 可以看出,处理 3 小区产量最高为 8.43 kg,由于处理 2 后期发病严重倒伏,减产严重,与其他处理相比差异显著;千粒重方面,处理 3>5>4>CK>2。每 667 m²产量,处理 3 比

对照(CK)、处理 2、处理 4 和处理 5 分别增产 128.67、326.68、17.34、93.34 kg。以当年稻谷收购价 1.75 元·kg⁻¹ 计算,处理 3 每 667 m² 比对照(CK)、处理 2、处理 4、处理 5 多收入 225.17 元、571.69 元、30.34 元和 163.34 元,效益显著。

表 3 不同沼肥施用量对水稻产量的影响

Table 3 Effect of different biogas fertilizer application amount on grain yield of rice

处理 Treatments	小区产量 Plot yield/(kg·20 m ²)	千粒重 1000-grain weight/g	折合产量 Equivalent yield/(kg·667 m ²)	收入 Income /(元·667 m ²)
1(CK)	6.50 b	26.43 b	433.36 b	758.38
2	3.53 c	22.40 c	235.35 c	411.86
3	8.43 a	28.13 a	562.03 a	983.55
4	8.17 a	27.40 ab	544.69 a	953.21
5	7.03 b	27.50 ab	468.69 a	820.21

2.4 不同沼肥施用量对籽粒中重金属含量的影响

由表 4 可知,处理 4 小区水稻籽粒中铅(Pb)含量最高,为 1.31 mg·kg⁻¹,与对照(CK)相比,籽粒中 Pb 含量显著提升了 23.58%。处理 3 施肥的小区水稻籽粒中 Pb 含量最低,为 0.91 mg·kg⁻¹,显著低于对照(CK)。不同沼肥施用量重金属铬(Cr)含量的大小差异表现为处理 5>处理 2>处理 3>处理 4>对照(CK)。除对照(CK)外,各处理间汞含量均偏低,但都高于对照(CK)。

由表 4 可见,不同沼肥施用量对籽粒中镉(Cd)含量和砷含量(As)处于未检出状态,这可能与籽粒中的镉和砷含量或仪器的检出限有一定的关系。

表 4 不同沼肥施用量对籽粒中重金属含量的影响

Table 4 Effect of different biogas fertilizer application amount on contents of heavy metal

处理 Treatments	重金属含量 Contents of heavy metal/(mg·kg ⁻¹)				
	Pb	Cd	Cr	Hg	As
1(CK)	1.06 b	未检出	28.07 d	0.01 b	未检出
2	0.97 bc	未检出	53.85 a	0.05 a	未检出
3	0.91 c	未检出	47.98 b	0.06 a	未检出
4	1.31 a	未检出	42.54 c	0.07 a	未检出
5	1.01 bc	未检出	58.02 a	0.07 a	未检出

3 结论与讨论

研究表明,在水稻种植过程中,将沼肥作为底肥有利于促进植株生长,可显著提高植株株高,这可能是因为沼肥中含有多种植物生长所需要的速效养分^[18],这些养分被植株吸收后,快速利用,从而增加了植株株高。

植株的生物量也是植物生长发育状况的一个重要指标。前人研究指出,在植株上施用一定量

的沼肥,可以改善植株的养分吸收状况,促进生长,提高植株生物量的积累^[19],这些研究的结论与本试验结果相一致。本文通过研究施用不同量的沼肥表明,适宜用量的沼肥能够提高植株茎叶生物量;但是过量施用,植株的生长反而受到一定程度的抑制,与徐海东等^[20]的研究结论相似,可能是沼肥里过量的营养元素对水稻产生了胁迫作用,抑制其正常生长。

氮磷钾是植物需要和收获时带走量较多的营养元素,也被称为肥料“三要素”,截至目前为止,施用肥料仍然是补充氮磷钾的主要手段^[21]。本研究发现,水稻施用沼肥,对茎叶中氮和钾的含量变化均有一定程度的影响,但对磷含量变化影响不显著。这种情况可能有两种原因:一是施用的沼肥中,速效氮和速效钾都高于磷,加上氮和钾在植物体内的移动性明显高于磷,所以氮和钾的含量变化在一定程度上高于磷;二是本研究中研究对象是茎叶中的氮磷钾含量,植物茎叶中氮钾的含量本底值高于磷,并且随着植株的生长,生物积累量的不断增加,植株对养分的吸收和利用也会出现拮抗作用。

以往研究指出,沼液作基肥,追施复合肥可以获得较高的产量,但沼肥不能完全代替化学肥料^[9,22]。本研究表明,施用沼肥可显著提高水稻产量。这可能是由于沼肥中高氮高钾的含量,满足了水稻生长前期对养分的迫切需求,促进了植株的生长,增加了物质质量的积累,因此,施用沼肥有利于提高水稻产量。但是,水稻产量并不随着沼肥施用量的提高而不断增加,较高的沼肥施用量(450 m³·hm⁻²),同样会带来产量的降低。这与张进等^[10]研究结论相一致。

禽畜在养殖过程中都会使用一定量的添加剂,重金属问题不可避免。通过本研究还发现,所收获的水稻籽粒中,对照(CK)的铅含量高于处理

2、处理3和处理5,而铬和汞含量明显低于沼肥处理。这些重金属的来源可能来自种植土壤的本身或者沼肥施用。因此,在考虑沼肥对籽粒重金属含量的影响的同时,还应考虑种植过程中其他因素对籽粒重金属的影响,以便为沼肥的合理化和资源化利用提供更科学的依据。

沼肥中含有量水稻生长所需的营养元素,可以促进水稻生长,但是当沼肥施用量过量时,水稻产量又会下降,因此,在水稻种植过程中沼肥的施用量必须控制在合理范围内。本试验结果表明,从提高水稻产量的角度考虑,当沼肥施用量在 $300 \sim 375 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ 时,水稻产量相对较高。当沼肥施用量为 $450 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ 时,籽粒重金属含量相对较高。

综合考虑水稻产量和安全性角度出发,本研究认为,以猪粪、养殖废水和养殖废弃物为发酵原料经厌氧发酵而成沼肥用于水稻种植,其施用量以 $300 \sim 375 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ 为宜。

参考文献:

- [1] 张无敌. 沼气发酵残留物利用基础[M]. 昆明:云南科技出版社,2002.
- [2] 王远远,刘荣厚. 沼液综合利用研究进展[J]. 安徽农业科学,2007,35(4):1089-1091.
- [3] 王慧霞,张坐省. 沼液中的化学物质及在农业生产上的应用[J]. 陕西农业科学,2006(3):89-91.
- [4] 郭强,柴晓利,程海静,等. 沼液的综合利用[J]. 再生资源研究,2005(6):37-41.
- [5] Sorensen P, Amato M. Remineralisation and residual effects of N after application of pig slurry to soil[J]. European Journal of Agronomy,2001,16:81-95.
- [6] 刘向林,王丽霞,吴冬悦,等. 长期施用沼液对土壤及产品的影响[J]. 中国沼气,2018,36(2):87-91.

- [7] 张无敌,宋洪川,丁琪,等. 沼气发酵残留物防治农作物病虫害的效果分析[J]. 农业现代研究,2001,22(3):167-170.
- [8] 唐微,伍钧,孙百晔,等. 沼液不同施用量对水稻产量及稻米品质的影响[J]. 农业环境学报,2010,29(12):2268-2273.
- [9] 胡向军,余东波. 沼液对桉柑生长发育、产量和品质的影响[J]. 中国沼气,2008,26(3):29-33.
- [10] 张进,张妙仙,单胜道,等. 沼液对水稻生长及其重金属含量的影响[J]. 农业环境学报,2009,28(10):2005-2009.
- [11] 刘勇,吴玉红,崔平,等. 沼液浸种时间及浓度对水稻种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 陕西农业科学,2018,64(7):16-19.
- [12] 张乾元,李兆丽. 沼液叶面喷施和灌根对马铃薯生长与产量的影响[J]. 中国沼气,2008,26(5):30-32.
- [13] 徐铭泽,孙丽英,张良,等. 沼液与化肥配施对西红柿生长和土壤组分的影响[J]. 中国沼气,2017,35(6):75-82.
- [14] Berenguer P, Santiveri F, Boixadera J, et al. Fertilisation of irrigated maize with pig slurry combined with pig slurry combined with mineral nitrogen[J]. European Journal of Agronomy,2008,28:635-645.
- [15] 潘瑞琪. 植物生理学[M]. 北京:高等教育出版社,2004.
- [16] 李小坤. 水稻营养特性及科学施肥[M]. 北京:中国农业出版社,2016.
- [17] 芒森. 农业中的钾[M]. 北京:科学出版社,1995.
- [18] 周孟津. 沼气实用技术[M]. 北京:化学工业出版社,2004.
- [19] 徐瑞强,董合林,徐文修,等. 喷施浓缩沼液对棉花幼苗生长发育和生理特性的影响[J]. 棉花学报,2018,30(3):261-271.
- [20] 徐海东,董合林,徐文修,等. 液态有机肥对滴灌棉花光合特性及产量形成规律的影响[J]. 中国农学通报,2017,33(20):71-77.
- [21] 陆景凌. 植物营养学[M]. 北京:中国农业出版社,2016.
- [22] 王桂良,张家宏,王守红,等. 沼液替代化肥氮对冬小麦产量、品质及生长发育的影响[J]. 农业资源与环境学报,2018,35(5):467-475.

Effects of Different Biogas Fertilizer Application Amount on Growth, Yield and Heavy Metals Content of Rice

HUANG Xiang¹, HONG Juan^{1,2}, CHEN Gang^{1,2}, LIAN Zhi-cheng¹, DU Lei¹, WANG Su-ping¹, ZHANG Li-hong¹, YE Li-xia^{1,2}

(1. Wuhan Academy of Agricultural Sciences, Wuhan 430000, China; 2. College of Resources and Environment, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

Abstract: Biogas fertilizer is a high quality organic fertilizer, which include various kinds of nutrient needed for plant growth. It has great significance to apply it safely and effectively to agricultural production to reduce environmental pollution and increase yield. The effects of different biogas fertilizer application amount by different volume on rice growth and development, nutrient content, yield and content of heavy metals in rice seeds of the *Indica* rice Huanghuazhan were studied with series of field trials. The results showed that the height of plant, stems and leaves growth and nutrient content of rice were affected by the use of biogas as base fertilizer and the compound fertilizer as supplemental fertilizer, the yield per 667 m^2 of rice could reached 562.03 kg. Meanwhile, the results also showed that the content of heavy metals in the harvested grains were increased when the high application amount of biogas fertilizer.

Keywords: biogas fertilizer; *Indica* rice; yield; heavy metals