

刘欣宇,曹盼,林永锋,等.餐厨堆肥对水稻产量、稻米品质及水土环境的影响[J].江苏农业科学,2022,50(20):253-257.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2022.20.038

餐厨堆肥对水稻产量、稻米品质及水土环境的影响

刘欣宇¹,曹盼²,林永锋¹,方昭¹,王琳琳¹,田光明³

[1. 中国农业大学有机循环研究院(苏州),江苏苏州 215100; 2. 中国农业大学资源与环境学院,北京 100083;
3. 浙江大学环境与资源学院,浙江杭州 310058]

摘要:为探索餐厨堆肥应用于水稻生产过程中对水稻产量、稻米品质及水土环境的影响。基于田间小区试验,设置 3 组餐厨堆肥单位用量梯度(15、30、45 t/hm²),并以当地常用的等氮量化肥(2.58 t/hm²)及鸡粪堆肥(13.49 t/hm²)作为对照进行施肥处理,对水稻产量、稻米品质、土壤养分、土壤重金属含量、稻田水体化学需氧量及悬浮物含量等指标进行测定评价。结果表明,餐厨堆肥处理的水稻产量高于等氮量化肥处理;在稻米外观品质和食味品质方面,相对于化肥和鸡粪堆肥处理,餐厨堆肥明显降低了稻米的垩白度,并明显提升了稻米的食味值;在稻米安全方面,15 t/hm²餐厨堆肥处理显著降低了稻米中的 Hg 含量,各处理在其余稻米重金属含量方面无显著差异,且含量均在国家标准规定的范围内;在土壤养分含量方面,餐厨堆肥处理提升了土壤中有机质及速效钾含量;在土壤安全性方面,各处理重金属含量均未超标,且含量远低于国家标准规定的上限值,属于在安全范围;在稻田水质方面,施用餐厨堆肥显著提升了水体中 COD 及悬浮物的含量,且随着餐厨堆肥施用量的增加而不断提升,但仍在安全范围内。因此,餐厨堆肥适宜替代等氮量的化肥应用于水稻的种植生产,对农田土壤及水体的安全性符合国家标准,建议加大对餐厨废弃物处理工艺的研究。

关键词:餐厨堆肥;水稻;产量;稻米品质;水土环境

中图分类号: S141.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2022)20-0253-04

随着我国经济的不断发展,餐厨废弃物成为影响城乡环境质量的一个重要问题。资源化利用是处理餐厨废弃物的一条关键路径,包括堆肥化利用、饲料化利用及生物柴油利用等。其中堆肥化利用,即餐厨堆肥,是当前餐厨废弃物资源化利用众多途径中技术难度相对较低的一种方式^[1]。Yang 等早在 1998 年就提出将餐厨废弃物作为堆肥进行资源化利用^[2];杨丽娟等研究表明,餐厨堆肥对番茄的产量及品质具有显著的提升促进作用^[3]。

有机肥的施用,能够改善土壤的理化性质并提高作物产量及品质。餐厨堆肥相对于其他有机肥

有着更加复杂的性质,在当前技术水平之下,餐厨堆肥往往含有大量的油脂及盐分,对农作物的生长及环境容易产生不良影响^[4-6]。同时,由于我国各地饮食文化、经济发展状况有所不同,餐厨废弃物性质也有很大的差异,导致以不同地域餐厨废弃物为原料制备的餐厨堆肥在养分含量、盐分含量、含水量等方面有很大的差异。当前关于餐厨废弃物资源化产品在农业生产中的应用已有部分研究,但研究结果却并不完全一致^[7-9],究其原因与餐厨堆肥原始物料的基本性质差异较大有关。因此,本研究提供了试验所用肥料的主要理化性质,可以为后人的相关研究提供参考依据。当前关于餐厨堆肥在水稻生产上应用的报道极少^[10],尤其是关于餐厨堆肥对稻米品质及稻田水体环境质量的影响未见报道。本研究以施用化肥及鸡粪堆肥作为对照,重点研究餐厨堆肥应用于水稻生产过程中对水稻产量、稻米品质及水土环境的影响,从而为餐厨堆肥在农业生产上的合理应用及餐厨废弃物的高效资源化利用提供理论依据。

收稿日期:2021-09-29

基金项目:国家重点基础研究发展计划(编号:2016YFD0800605);苏州市农业科技创新项目(编号:SNG2020041);苏州市农业科技创新项目(编号:SNG2021026)。

作者简介:刘欣宇(1995—),男,辽宁沈阳人,硕士,助理研究员,从事有机废弃物资源化研究,E-mail:liuxinyu@oricau.cn;共同第一作者:曹盼(1997—),女,河北石家庄人,硕士研究生,从事有机废弃物资源化研究,E-mail:Caoyip6@163.com。

通信作者:田光明,博士,教授,从事有机废弃物资源化研究。
E-mail:gmtian@zju.edu.cn。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于江苏省苏州市吴中区东山镇,地处太湖流域,年平均气温 18.5℃,最高气温 35℃,最低气温 2℃,年日照时数 2 198 h,年降水量 967 mm。试验地土壤为水稻土,土壤质地为黏土,是环太湖地区水稻生产的主要土壤类型,供试区域平坦向阳,排灌方便,种植前细致整地,在水稻移栽前后无化肥投入施用。

1.2 试验材料

供试水稻品种为南粳 46,2007 年以关东 194 为父本,武香粳 14 为母本经人工选育杂交而成。南粳 46 抗条纹叶枯病、中抗白叶枯病,感穗颈瘟和纹枯病。全生育期 165 d 左右,属中熟晚粳类型。供试化肥为复合肥,购自江苏华昌化工股份有限公司,试餐厨堆肥由环太湖地区收集的餐厨垃圾于环太湖有机废弃物处理利用示范中心经好氧发酵而得。试验地土壤及供试肥料基本情况见表 1。

表 1 供试土壤及肥料主要理化性质

供试物	全氮 含量 (%)	全磷 含量 (%)	全钾 含量 (%)	有机质 含量 (%)	pH 值	电导率 (mS/cm)
土壤	0.30	0.12	2.10	3.26	7.01	0.77
化肥	16.00	12.00	17.00	0.00	6.97	1.28
鸡粪堆肥	3.07	1.17	2.14	25.6	7.56	3.24
餐厨堆肥	2.76	0.48	0.40	66.24	8.05	5.79

1.3 试验设计

试验共设置 6 个处理:不施肥(CK),等氮量化肥 2.58 t/hm²(T1),鸡粪堆肥 13.49 t/hm²(T2),餐厨堆肥 15 t/hm²(T3),餐厨堆肥 30 t/hm²(T4),餐厨堆肥 45 t/hm²(T5),各处理作为水稻基肥于 2020 年 5 月 21 日 1 次施入。2020 年 6 月 5 日移栽,2020 年 11 月 17 日收获。以上各处理地块均多年连续种植水稻,各处理随机排列,重复 3 次,共 18 个小区。

1.4 测定项目及调查方法

1.4.1 水稻产量及构成因素调查 以小区收获后全部风干籽粒质量计算产量,产量构成因素于室内进行考种,调查有效穗数、每穗粒数、千粒质量和结实率。

1.4.2 稻米品质调查 参考江苏省地方标准 DB32/T 1762—2011《稻米食味品质评价》^[11]对稻米蛋白质含量、直链淀粉含量及食味值进行评价;按照国家标准 GB 2762—2005《食品中污染物限

量》^[12]对稻米汞(Hg)、砷(As)、铅(Pb)、镉(Cd)、铬(Cr)、硒(Se)含量进行测定。

1.4.3 水土环境质量调查 于水稻成熟期(2020 年 10 月 21 日)采集水体样本,以脚踏真空泵采集水面以下、土表以上的水,用 250 mL 玻璃瓶分装,置于 4℃冰箱中保存,并参考国家标准 GB 5084—2005《农田灌溉水质标准》中规定的方法,对水样进行评价,测定水样中化学需氧量(COD)、pH 值及悬浮物含量。

于水稻收获当日采集土壤样本,采样位置为水稻根系 0~15 cm 处,将样本风干、磨碎、过 100 mm 筛备用。土壤理化性质指标的测定参考鲍士旦的方法^[13],测定 pH 值、全氮含量、速效磷含量、速效钾含量、有机质含量;依据国家标准 GB 15618—2018《土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准(试行)》^[14]中规定的方法,对土壤中的重金属含量进行测定。

1.5 数据统计与分析

采用 Excel 2010 对试验原始数据进行统计,利用 DPS 18.1 软件进行灰色关联度与单因素方差分析。

2 结果与分析

2.1 不同处理对水稻产量的影响

由表 2 可知,相对于化肥处理,餐厨堆肥各个施用量均对水稻产量产生了明显的提升效果,T3、T4、T5 处理相对于 T1 处理分别提升了 3.76%、9.96% 和 13.14%。同时,餐厨堆肥高用量处理(T5)相对于化肥及鸡粪堆肥处理的有效穗数、千粒质量及结实率也均达到了显著差异水平($P<0.05$)。在每穗粒数方面,餐厨堆肥处理与其他处理均具有显著差异($P<0.05$)。采用灰色关联度法对表 2 中的数据进行分析,根据分析结果(表 3)可知,有效穗数与水稻产量的关联系数最大,说明有效穗数是影响水稻产量的关键因素。随着餐厨堆肥施用量的增加,有效穗数也在逐步上升,并使水稻产量呈现递增趋势。

2.2 不同处理对稻米品质的影响

由表 4 可知,在稻米外观品质与食味品质方面,与化肥处理及鸡粪堆肥处理相比,餐厨堆肥处理降低了稻米的垩白度,T3 处理水稻的垩白度在处理组中最低。餐厨堆肥处理的食味值整体大于化肥处理,其中 T3 处理餐厨堆肥处理的食味值最高,与鸡粪堆肥处理无显著差异。由此可见,餐厨堆肥替代

表 2 不同施肥处理条件下水稻产量及构成

处理	有效穗数 (万穗/hm ²)	每穗粒数 (粒)	千粒质量 (g)	结实率 (%)	实际产量 (kg/hm ²)
CK	430.50 ± 17.62c	67.33 ± 9.01b	27.97 ± 0.71a	97.63 ± 1.58ab	7 318.90 ± 16.97f
T1	456.03 ± 16.38bc	68.67 ± 9.66b	25.75 ± 1.80b	94.19 ± 3.02bc	7 617.45 ± 17.48e
T2	434.39 ± 15.80c	70.67 ± 8.50b	28.46 ± 0.51a	98.27 ± 0.74a	8 532.75 ± 14.45b
T3	446.93 ± 26.60c	95.78 ± 1.26a	24.21 ± 0.41bc	96.98 ± 0.62b	7 903.94 ± 15.54d
T4	483.44 ± 35.17ab	94.53 ± 6.28a	23.13 ± 0.68c	93.89 ± 0.78c	8 376.16 ± 25.68c
T5	503.33 ± 13.93a	105.17 ± 12.50a	21.53 ± 0.15d	90.28 ± 2.22d	8 618.21 ± 11.56a

注:同列数据后不同小写字母表示处理间差异显著($P < 0.05$)。表 4 至表 8 同。

表 3 产量构成因素与水稻产量的关联度分析

项目	有效穗数	每穗粒数	千粒质量	结实率
关联系数	0.447 4	0.136 4	0.219 1	0.287 7

表 4 不同施肥处理条件下稻米外观与食味品质

处理	稻米食味品质(%)			食味值 (分)
	垩白度	蛋白质含量	直链淀粉含量	
CK	1.88 ± 0.27c	7.40 ± 0.67a	17.71 ± 1.09a	84.70 ± 2.62a
T1	5.74 ± 0.98a	7.42 ± 0.58a	17.39 ± 1.87a	85.12 ± 2.57a
T2	3.89 ± 0.52b	7.19 ± 0.51a	17.00 ± 0.97a	87.96 ± 1.32a
T3	2.69 ± 0.49c	7.10 ± 0.27a	17.22 ± 2.57a	88.13 ± 2.44a
T4	3.81 ± 0.58b	7.21 ± 0.54a	17.89 ± 3.14a	85.95 ± 0.78a
T5	3.81 ± 0.37b	7.59 ± 0.81a	17.72 ± 2.18a	85.26 ± 2.31a

化肥能够改善稻米的外观品质和食味品质。在稻米安全品质方面(表 5),T3 处理能够显著降低稻米中的 Hg 含量,而在其他重金属含量方面,各个处理

并无显著差异。根据国家标准 GB 2762—2005《食品中污染物限量》对大米污染物的限量要求: $Hg \leq 0.02$ mg/kg、 $As \leq 0.15$ mg/kg、 $Pb \leq 0.2$ mg/kg、 $Cd \leq 0.2$ mg/kg、 $Cr \leq 1$ mg/kg、 $Se \leq 0.3$ mg/kg,本试验所有处理均符合国家标准。

2.3 不同施肥处理对土壤环境的影响

由表 6 可知,在土壤养分含量方面,施用餐厨堆肥能够提升土壤的有机质及速效钾含量。各处理在土壤全氮含量及 pH 值方面并无显著差异,而 T5 处理能够显著提升土壤中的速效磷含量($P < 0.05$)。在土壤安全性方面,国家标准 GB 15618—2018《土壤环境质量农用地土壤污染风险管控标准(试行)》对农用地土壤污染风险筛选值各项指标做了明确要求,本研究各处理的结果详见表 7,各处理 pH 值无显著差异,重金属含量远低于国家标准规定的上限值,属于安全范围。

表 5 不同施肥处理条件下稻米安全品质

处理	稻米安全品质					
	Hg(μg/kg)	Cr(mg/kg)	As(mg/kg)	Se(mg/kg)	Cd(mg/kg)	Pb(mg/kg)
CK	4.02 ± 0.32bc	0.19 ± 0.02b	0.10 ± 0.00b	0.08 ± 0.01ab	0.01 ± 0.00a	0.03 ± 0.01b
T1	5.29 ± 0.32a	0.26 ± 0.00ab	0.11 ± 0.00b	0.09 ± 0.01ab	0.01 ± 0.00a	0.02 ± 0.00b
T2	5.35 ± 0.43a	0.26 ± 0.06ab	0.11 ± 0.01b	0.07 ± 0.00b	0.01 ± 0.00a	0.02 ± 0.00b
T3	3.77 ± 0.61c	0.22 ± 0.05b	0.10 ± 0.01b	0.10 ± 0.01a	0.02 ± 0.00a	0.02 ± 0.02b
T4	4.64 ± 0.31ab	0.32 ± 0.04a	0.10 ± 0.04b	0.09 ± 0.00ab	0.01 ± 0.00a	0.04 ± 0.00b
T5	5.34 ± 0.59a	0.21 ± 0.03b	0.15 ± 0.01a	0.09 ± 0.03ab	0.01 ± 0.00a	0.07 ± 0.02a

表 6 不同施肥处理条件下土壤养分含量

处理	pH 值	土壤养分(%)			
		有机质含量	全氮含量	速效磷含量	速效钾含量
CK	6.29 ± 0.21a	24.65 ± 1.65ab	0.21 ± 0.03a	23.76 ± 5.35b	47.33 ± 3.11d
T1	6.30 ± 0.43a	20.84 ± 3.87b	0.20 ± 0.02a	24.42 ± 4.80b	93.58 ± 9.15c
T2	6.22 ± 0.37a	25.29 ± 2.69ab	0.22 ± 0.02a	27.29 ± 6.11b	103.53 ± 18.02c
T3	6.25 ± 0.54a	31.70 ± 7.42ab	0.23 ± 0.05a	24.39 ± 3.96b	141.47 ± 11.74b
T4	6.26 ± 0.11a	33.45 ± 15.41ab	0.28 ± 0.09a	20.65 ± 4.29b	153.65 ± 26.29b
T5	6.39 ± 0.28a	40.95 ± 11.05a	0.24 ± 0.13a	38.07 ± 6.22a	196.23 ± 19.27a

表 7 不同施肥处理条件下土壤安全性指标

处理	土壤安全性指标 (mg/kg)							
	Hg	Pb	Cd	Cr	As	Zn	Cu	Ni
CK	0.10 ± 0.02b	29.12 ± 3.21c	0.22 ± 0.03a	61.57 ± 5.23a	8.62 ± 1.78a	58.19 ± 4.79a	30.17 ± 5.41a	33.46 ± 3.81a
T1	0.17 ± 0.01a	38.68 ± 2.59b	0.16 ± 0.02b	64.79 ± 3.98a	11.90 ± 3.46a	59.94 ± 3.86a	31.13 ± 3.19a	34.81 ± 3.46a
T2	0.16 ± 0.01a	58.80 ± 5.07a	0.19 ± 0.02ab	62.11 ± 6.15a	12.96 ± 2.13a	59.90 ± 5.33a	30.25 ± 1.65a	32.68 ± 5.38a
T3	0.15 ± 0.01a	59.50 ± 4.79a	0.22 ± 0.01a	61.76 ± 6.78a	11.42 ± 2.19a	57.32 ± 4.37a	37.50 ± 5.41a	33.81 ± 2.99a
T4	0.16 ± 0.02a	52.94 ± 1.78a	0.18 ± 0.06ab	64.57 ± 6.14a	12.18 ± 0.79a	57.91 ± 5.96a	31.79 ± 7.12a	32.97 ± 4.48a
T5	0.16 ± 0.03a	54.47 ± 3.76a	0.15 ± 0.01b	66.10 ± 1.57a	13.09 ± 2.99a	59.88 ± 8.73a	34.11 ± 9.11a	35.82 ± 6.63a

2.4 不同处理对稻田水体环境的影响

受限于当前处理工艺水平,餐厨废弃物在进行堆肥化利用的过程中通常会有大量的盐分及油脂等杂质难以去除,因此施用餐厨堆肥应格外注意对稻田水质的影响。国家标准 GB 5084—2005《农田灌溉水质标准》^[15]中对水作作物的水质重点控制项目做出了明确的标准值: COD ≤ 150 mg/L、悬浮物 ≤ 80 mg/L、pH 值为 5.5 ~ 8.5。其中,COD 为以化学方法测量水样中需要被氧化的物质的氧当量,是衡量水体有机污染的一项重要指标。本试验相关结果见表 8,所有处理的水质指标均符合国家标准的规定。相对于其他处理,施用餐厨堆肥处理显著提升了 COD 及悬浮物的含量 ($P < 0.05$),且随着餐厨堆肥施用量的增加而不断提升。当餐厨堆肥用量为 45 t/hm² 时,稻田水体中 COD 及悬浮物含量已接近国家标准规定的上限。由此可见,施用餐厨堆肥会对稻田水体环境产生较大的影响,但在一定用量范围内不会超过国家相关标准的规定。

表 8 不同施肥处理条件下水质指标

处理	COD (mg/L)	pH 值	悬浮物 (mg/L)
CK	48.13 ± 4.76b	8.33 ± 0.67ab	32.34 ± 4.67b
T1	52.78 ± 7.71b	7.73 ± 0.98b	10.41 ± 2.76c
T2	32.59 ± 3.82b	9.65 ± 1.09a	14.94 ± 1.60c
T3	118.21 ± 19.95a	7.25 ± 0.37b	66.81 ± 10.31a
T4	128.16 ± 20.32a	7.01 ± 0.45b	68.87 ± 14.57a
T5	128.97 ± 17.81a	6.89 ± 0.69b	76.43 ± 13.21a

3 讨论与结论

将餐厨废弃物以堆肥方式进行资源化利用是学界研究较早且普遍采用的一种方式。本试验中,相对于等氮量的化肥及鸡粪堆肥,餐厨堆肥对水稻产量具有明显的提升作用,分析其原因是餐厨堆肥能够显著提升水稻的有效穗数及每穗粒数,这与相

关的研究结果^[10]一致。

随着人民生活质量的不断提高,农作物的生产不应只满足于产量的提升,更要注意其品质。为此,本试验首次针对餐厨堆肥对稻米品质的影响进行了研究,发现施用餐厨堆肥能够有效改善稻米的加工品质、外观品质及食味品质,且对稻米中的大部分重金属含量没有明显影响,其中施用 15 t/hm² 餐厨堆肥处理能够显著降低稻米中的 Hg 含量。

餐厨堆肥作为一种有机肥,能够明显提高土壤中的有机质及速效钾含量,不仅高于化肥处理,而且也高于同为有机肥处理的鸡粪堆肥,各处理在土壤安全性方面没有显著差异,表明餐厨堆肥在一定施用量范围内对稻田土壤具有较高的安全性,并能够改良土壤的理化性质。在农业生产过程中,农田灌溉水的安全性同样极为重要,本试验首次研究施用餐厨堆肥对稻田水质的影响,研究结果表明,餐厨堆肥对稻田水体中 COD、悬浮物含量及 pH 值有着较大的影响,相对于化肥及鸡粪堆肥,对水体存在着一定的污染性,但仍在国家标准所规定的安全范围内,分析其原因在于餐厨废弃物发酵等处理工艺未能完全去除掉其中的油脂等杂质。综上所述,餐厨堆肥适宜替代等氮量的化肥应用于水稻生产,对农田土壤及水体的安全性符合国家标准,建议进一步加大对餐厨废弃物处理工艺的研究。

参考文献:

[1] 徐欣韵. 基于餐厨废弃物堆肥的番茄青枯病防治生物有机肥可行性研究[D]. 杭州:浙江大学,2021.

[2] Yang J S, Lee L, Kim K D, et al. Effect of sodium chloride containing -composts on growth Lettuce (*Lactuca sativa* L.) and chemical properties of salt accumulated plastic film house soils[J]. Korean Journal of Soil Science and Fertilizer, 1998, 31(5): 277 - 284.

[3] 杨丽娟, 李天来, 储慧霞, 等. 餐厨废弃物作堆肥对盆栽番茄产量及品质影响[J]. 沈阳农业大学学报, 2010, 41(6): 721 - 724.

[4] 刘欣宇, 宋 鹏, 林永锋, 等. 餐厨堆肥与泥炭配比用于黄瓜育苗基质的研究[J]. 山西农业大学学报(自然科学版), 2022, 42

郑云珠,孙树臣. 单季施用生物炭提高土壤肥力及小麦玉米轮作周年产量[J]. 江苏农业科学,2022,50(20):257-264.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2022.20.039

单季施用生物炭提高土壤肥力及小麦玉米轮作周年产量

郑云珠,孙树臣

(聊城大学地理与环境学院,山东聊城 252059)

摘要:在全球变暖的背景下,生物炭在固碳减排、持水保肥、提高作物产量等方面发挥重要作用,而在小麦玉米轮作系统中关于生物炭施用对土壤养分持留及作物产量持续影响尚不明确。为探明单季生物炭还田对鲁西平原石灰性潮土区冬小麦—夏玉米轮作系统土壤养分及作物产量的影响,通过盆栽试验,设置 4(B1)、8(B2)、16(B3)、24(B4)、32(B5)、40(B6) t/hm² 等 6 种不同的玉米秸秆生物炭(450℃)施用量,以未施用生物炭作为对照(CK),研究冬小麦单季施用生物炭对土壤养分、冬小麦及夏玉米产量的影响。结果表明,施用生物炭可以提高土壤养分含量,而对土壤 pH 值、电导率(EC)和硝态氮(NO₃⁻-N)含量的影响与对照相比差异不显著,B6 处理显著提高了土壤铵态氮(NH₄⁺-N)、速效钾(AK)、有机碳(SOC)及水溶性有机碳(DOC)的含量。施用生物炭可以增加冬小麦—夏玉米籽粒产量,冬小麦季 B4 处理显著增产 50.82%,夏玉米季 B3、B4、B5、B6 处理分别显著增产 45.62%、54.69%、57.97%、65.24%。冬小麦—夏玉米周年产量与土壤 NO₃⁻-N、NH₄⁺-N、AK、SOC、DOC 含量呈显著或极显著正相关。综合生物炭施用对土壤肥力、冬小麦—夏玉米籽粒产量及生物炭还田成本等方面进行分析,在冬小麦单季生物炭还田条件下,鲁西平原石灰性潮土区施用 24 t/hm² 玉米秸秆生物炭有利于冬小麦—夏玉米轮作系统作物产量的增加及土壤肥力的提升。

关键词:生物炭;冬小麦;夏玉米;土壤养分;作物产量;轮作

中图分类号:S512.106;S513.06

文献标志码:A

文章编号:1002-1302(2022)20-0257-08

我国作为世界上重要的农业大国之一,秸秆资

源种类丰富、分布范围广,年产量约 10 亿 t,且具有逐年增长的态势^[1-2]。然而,秸秆还田率不足 50%^[3],严重制约了农业发展的可持续性。因此,探寻合理的秸秆资源无害化利用一直是农业发展过程中关注的热点和难点问题。

秸秆中富含农作物生长所需的氮(N)、磷(P)、钾(K)等营养元素^[4],农作物光合作用的产物约有

(1);35-42.

[5]裴占江,刘杰,王粟,等.餐厨垃圾厌氧消化工艺研究[J].可再生能源,2015,33(2):289-295.

[6]孙天姿,王攀,陈锡腾,等.餐厨垃圾厌氧发酵沼液制备的液态菌肥对农田土壤理化性质的影响[J].环境工程,2020,38(8):201-206.

[7]朱诗君,金树权,汪峰,等.典型城市废弃物混合好氧堆肥的基本特征及其育苗应用潜力[J].浙江农业学报,2021,33(6):1069-1077.

[8]Meng X Y,Dai J L,Zhang Y,et al. Composted biogas residue and spent mushroom substrate as a growth medium for tomato and pepper seedlings[J]. Journal of Environmental Management, 2018, 216: 62-69.

[9]张婷婷.餐厨垃圾不同模式堆肥化处理效果及产品应用研究[D].泰安:山东农业大学,2016.

[10]王站付,邱韩英,陆利民,等.餐厨垃圾堆肥产品施用对水稻产量

及土壤环境的影响[J].江苏农业科学,2020,48(23):93-97.

[11]江苏省质量技术监督局.稻米食味品质评价:DB 32/T 1762—2011[S].

[12]中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会.食品安全国家标准食品中污染物限量:GB 2762—2017[S].北京:中国标准出版社,2017.

[13]鲍士旦.土壤农化分析[M].3版.北京:中国农业出版社,2000.

[14]中华人民共和国生态环境部.土壤环境质量农用地土壤污染风险管控标准(试行):GB 15618—2018[S].北京:中国标准出版社,2018.

[15]国家标准化管理委员会,国家质量监督检验检疫总局.农田灌溉水质标准:GB 5084—2005[S].北京:中国标准出版社,2005.

[16]满吉勇,林永锋,李丛林,等.餐厨垃圾堆肥对水稻生长、产量及土壤养分含量的影响[J].中国农业大学学报,2021,26(11):165-179.