

猪粪厌氧、有氧发酵物氮源对甘蓝生长及土壤养分的影响

吴飞龙, 叶美锋, 林代炎*

(福建省农业科学院农业工程技术研究所, 福建 福州 350003)

摘要: 探讨了在等氮量供应下, 猪粪厌氧发酵物(沼液)及有氧发酵物(堆肥)氮源对甘蓝生长及土壤养分的影响, 结果表明: 在等氮量供应的情况下, 施用猪粪沼液不仅可以替代化肥为作物提供生长所必需的氮素, 而且提高了养分的利用效率, 对甘蓝的增产效果显著; 而施用猪粪堆肥处理的甘蓝产量较低, 但是施用猪粪堆肥可以提高土壤有机质和土壤 pH 值, 减少施用化肥带来的土壤酸化危害; 在等氮量供应的情况下, 单施猪粪堆肥处理的土壤有效磷、速效钾含量最高。

关键词: 猪粪; 沼液; 堆肥; 甘蓝; 土壤养分

中图分类号: S158.3; S635.1; S141 **文献标识码:** A **文章编号:** 1673-6257(2015)04-0049-04

随着规模化养猪场数量迅速增加, 以及国家对养猪业环保的重视程度越来越高, 如何解决规模化养猪业的污染问题成为人们关注的热点。堆肥工程和沼气工程不仅是减少规模化养猪场环境污染的重要技术, 同时也是将猪粪制成肥料的两种有效方法。猪粪富含有机质和氮、磷、钾等营养元素, 及一些微量元素, 是一种优质的有机肥源^[1], 养殖规模的不断扩大, 致使粪污排放量不断增加, 其有氧发酵产生的堆肥和厌氧沼气发酵产物沼液的产生量也越来越大, 因此, 如何合理的指导猪粪厌氧、有氧发酵物代替化肥开展种植利用具有重要的意义。

沼液是有机物厌氧发酵后的产物, 含有丰富的养分和生物活性物质等, 常被作为液体肥料^[2], 在蔬菜、果树、花卉和大田作物上都有应用研究, 其中, 蔬菜是沼液应用研究最多的作物, 已在近 20 种蔬菜上进行了试验^[3]。好氧堆肥将猪粪转变为稳定化、无害化的腐殖质^[4], 猪粪堆肥在水稻、玉米、油菜、辣椒等种植中均有应用^[5-8]。沼液及堆肥施用对农作物增产和改善作物品质的研究较

多, 而有关猪粪厌氧、有氧发酵物氮源对蔬菜的养分利用效率和对土壤环境的影响的研究较为鲜见。为了研究猪粪厌氧、有氧发酵物氮源在结球甘蓝种植上的应用技术, 及其对减少化肥投入的替代效果, 本文从植物营养学及土壤环境方面进行试验分析和评价, 以期为蔬菜利用猪粪不同发酵产物提供理论参考, 从而为促进农业废弃物的合理利用打下基础。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验时间为 2011 年 10 月至 2012 年 5 月, 试验地点位于福清市龙山街道先强村种植基地内, 基础土壤性质如下: 水稻土, 土壤有机质 $25.6 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 全氮 $1.03 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 全磷 (P) $0.51 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 全钾 (K) $2.14 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 碱解氮 $10.1 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 有效磷 (P) $9.6 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 速效钾 (K) $65 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, pH 值 5.3。供试作物为结球甘蓝, 品种为京丰 1 号。供试堆肥的主要原料为杏鲍菇菌渣和猪粪, 经 45 d 高温有氧发酵而成 [有机质 $337.5 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 全氮 $10.3 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 全磷 (P_2O_5) $26.3 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 全钾 (K_2O) $11.4 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$], 沼液取自附近某存栏万头生猪的规模化养殖场内的沼气发酵池, 以猪粪、尿经厌氧发酵而成 [有机质 $1.8 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、全氮 $0.50 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、全磷 (P_2O_5) $0.46 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、全钾 (K_2O) $0.77 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$]。

收稿日期: 2014-06-23; 最后修订日期: 2014-07-26

基金项目: 十二五国家科技支撑项目 (2012BAD14B15); 国家星火计划项目 (2013GA720004); 福建省科技重大专项专题项目 (2013YZ01030004)。

作者简介: 吴飞龙 (1982-), 男, 福建闽侯县人, 硕士, 助理研究员, 主要研究方向为农业环境保护。E-mail: wuf82@163.com。

通讯作者: 林代炎, E-mail: lindaiyan@126.com。

1.2 试验设计

试验共设 8 个处理：①不施肥料 (CK)；②单施尿素 (T1)；③单施沼液 (T2)；④单施堆肥 (T3)；⑤施沼液 + 尿素 (T4)；⑥施堆肥 + 尿素 (T5)；⑦施堆肥 + 沼液 (T6)；⑧施堆肥 + 沼液 + 尿素 (T7)。每个处理 3 个重复，随机排列。

每个试验小区为 4 m²，所有处理均在整地时施入足量的过磷酸钙和硫酸钾肥，其用量分别为 750 kg · hm⁻² 和 384 kg · hm⁻²；堆肥均作基肥；除 T1 处理尿素一半作基肥一半作追肥外（追肥时间为定植后 45 d），其他处理均作为基肥；沼液作追肥，于甘蓝长出 3 片真叶后每 10 d 施用 1 次，分成 12 次施用。

表 1 试验处理及施肥量

处理	编号	折合 N (kg · hm ⁻²)	小区施用量 (kg)		
			尿素	沼液	堆肥
不施肥料	CK	0	0	0	0
单施尿素	T1	300	0.26	0	0
单施沼液	T2	300	0	240	0
单施堆肥	T3	300	0	0	12
尿素 + 沼液	T4	300	0.13	120	0
堆肥 + 尿素	T5	300	0.13	0	6
堆肥 + 沼液	T6	300	0	120	6
堆肥 + 尿素 + 沼液	T7	300	0.07	60	6

注：沼液的施用量按照沼液的全氮含量 0.50 g · kg⁻¹ 计算。

1.3 分析测定方法

试验结束后，进行小区测产，并随机取样测定甘蓝干物质中的 N、P、K 含量。植物样品用硫酸 - 双氧水消解后，用凯氏定氮法测全氮，用钼锑抗比色法测全磷，用火焰光度法测全钾。

同时多点混合采样法随机采集土样，去除杂物，自然风干后，充分混匀后研磨过 1.0 mm 土筛，以备检测。土壤有机质采用重铬酸钾外热源法，全氮采用凯氏定氮法，全磷采用氢氧化钠熔融 - 钼锑抗比色法，全钾采用氢氧化钠熔融 - 火焰光度法测定；碱解氮采用碱解扩散法，有效磷采用碳酸氢钠浸提 - 钼锑抗比色法，速效钾采用中性醋酸铵浸提 - 火焰光度法，pH 值采用电位法（土水比 1:2.5）测定。

应用 SAS 8.1 软件对检测结果进行方差分析。

甘蓝单产计算公式：单产 (kg · hm⁻²) = 小区产量 (kg) ÷ 4 (m²) × 10 000 (m²) × 56%；

因为甘蓝实际生产中需要起垄做沟，其实际生产面积一般为总面积的 56%。

2 结果与分析

2.1 不同施肥处理对甘蓝产量的影响

不同施肥处理对甘蓝产量的影响见表 2，与对照相比，各施肥处理产量均有不同程度的增加。甘蓝产量是指可食用球茎部分，生物量是指甘蓝植株地上部分，包括产量及叶。T4 处理小区产量、生物量和单产最高，分别达到 64.1、91.5 kg 和 89.7 t · hm⁻²。而 T2 处理小区产量、生物量和单产居第二，分别为 60.0、85.6 kg 和 84.0 t · hm⁻²。T4 处理与 T2 处理之间差异不显著，但 T4 处理与其它处理相比都差异显著。T4、T2 分别比 CK 处理增产 234% 和 212%，比单纯施用化肥的 T1 处理增产 32.7% 和 24.2%。同时从表 2 还可看出，T4、T2 处理的产量与生物量之比最高，都达到了 0.70，说明有更多的生物量转化为产量，提高了养分的利用效率；而 T3 处理的产量生物量比较低，略高于 CK 处理，其养分利用效率较低。

表 2 不同施肥处理对甘蓝产量的影响

处理	小区产量 (kg)	小区生物量 (kg)	产量/生 物量	单产 (t · hm ⁻²)	增产率 (%)
CK	19.2e	37.5e	0.51	26.8	—
T1	48.3bc	70.1bc	0.69	67.6	152
T2	60.0ab	85.6ab	0.70	84.0	212
T3	23.6de	43.5de	0.54	33.1	23
T4	64.1a	91.5a	0.70	89.7	234
T5	34.7cd	55.1cde	0.63	48.5	81
T6	39.5c	59.5cd	0.66	55.3	106
T7	45.8c	67.4c	0.68	64.1	138

注：同一列中不同字母表示在 0.05 水平上差异显著。下同。

从表 2 还看出，利用堆肥代替尿素或沼液的处理产量均比不替代的处理低，如 T2 处理 > T6 处理，T4 处理 > T7 处理，并且差异均显著。这是因为在等氮量供应的情况下，堆肥中的速效氮素含量较尿素或沼液低，其氮素主要以有机态形式存在，不能在甘蓝生长期将氮素全部有效地供给甘蓝，降低了甘蓝生物量和产量。

2.2 不同施肥处理对甘蓝植株养分的影响

从表 3 可知，T2 处理植株全氮含量最高，为 28.2 g · kg⁻¹，它与其他处理 (T5 除外) 相比达到显著差异；而 CK 处理甘蓝的全氮含量最低，为 20.6 g · kg⁻¹，它除了与 T3 处理差异不显著外，与其它处

理均差异显著。这说明施用沼液可以促进植株对氮素的吸收。因为沼液中的氮素主要以速效氮为主, 可被作物迅速吸收利用, 而且沼液养分比较全面, 一定程度上也促进了植株对氮素的吸收和累积。

表3 不同施肥处理甘蓝养分含量的影响

处理	全氮 (g · kg ⁻¹)	全磷 (P, g · kg ⁻¹)	全钾 (K, g · kg ⁻¹)
CK	20.6e	11.5ab	41.7ab
T1	25.3bc	10.6ab	35.2b
T2	28.2a	12.2ab	43.7a
T3	21.5de	11.6ab	43.0ab
T4	25.2bc	10.5ab	39.5ab
T5	26.5ab	13.0a	38.5ab
T6	23.9bcd	10.0b	39.6ab
T7	23.3cd	9.3b	36.6ab

T5 处理的全磷含量最高, 达 13.0 g · kg⁻¹, 它与 T6 处理和 T7 处理差异显著。因为 T5 处理受氮素供应的影响其生物量较低, 造成一定浓缩效应。T2 处理的全钾含量最高, 为 43.7 g · kg⁻¹, 它与 T1 处理相比差异显著, 与其它处理差异不显著。T3 处理的全钾含量为 43.0 g · kg⁻¹, 为所有处理中第二高, 但是与其它处理相比差异不显著。这是因为沼液和堆肥中的钾素含量较高, 促进了甘蓝植株对钾的吸收利用。

2.3 不同施肥处理对土壤全量养分、pH 值和有机质的影响

不同施肥处理土壤全量养分、pH 值和有机质的变化见表 4, CK 处理的土壤全氮含量最低, 仅为 0.79 g · kg⁻¹, 与其他处理相比达到显著差异, 较试验前下降了 23.3%。这是因为 CK 处理没有施氮肥, 甘蓝吸收土壤的氮素, 致使土壤全氮含量有所下降。所有处理的土壤全磷含量、全钾含量均差异不显著。这可能是因试验前各处理均施入了足量的磷、钾肥料。

从表 4 还可看出, 施用堆肥代替尿素或沼液的处理 T5、T6 和 T7, 其土壤 pH 值比不施用堆肥的处理 T1、T2 和 T4 要高, 其中处理 T5、T6 分别与处理 T1、T2 相比差异显著。说明施用堆肥可以提高土壤 pH 值, 减少施用化肥带来的土壤酸化危害。这与丁玉梅^[9]、王玉敏^[10]等研究结果一致。同时从表 4 还可以看出, 施用堆肥的处理其有机质含量均比不施用堆肥的处理要高, 其中处理 T6 的土壤有机质含量最高, 而处理 T4 土壤有机质含量最低。

表4 不同施肥处理对土壤全量氮磷钾、有机质含量及 pH 值的影响

处理	全氮 (g · kg ⁻¹)	全磷 (P, g · kg ⁻¹)	全钾 (K, g · kg ⁻¹)	pH 值	有机质 (g · kg ⁻¹)
CK	0.79b	0.88a	1.73a	5.03bcd	20.9bc
T1	1.31a	0.85a	1.64a	4.97cd	21.2bc
T2	1.20a	0.82a	1.55a	5.03bcd	20.1c
T3	1.07a	1.01a	1.62a	5.20abc	23.0ab
T4	1.28a	0.85a	1.59a	4.91d	20.0c
T5	1.19a	0.89a	1.53a	5.29ab	22.4ab
T6	1.29a	0.96a	1.62a	5.42a	24.3a
T7	1.31a	0.87a	1.64a	5.15abcd	22.9ab

2.4 不同施肥处理对土壤速效养分含量的影响

表 5 反映的是不同施肥处理对土壤速效养分含量的影响。各处理的土壤碱解氮含量差异均不显著。T3 处理的土壤有效磷含量最高, 与 T1、T5、T6 和 CK 处理之间差异显著。T3 处理的土壤有效磷含量高是因为猪粪堆肥中的磷素含量较高, 而且 T3 处理的甘蓝生物量较少, 其对磷的吸收也比较有限。朱晓晖等^[11]研究也表明施用有机肥土壤有效磷含量均不同程度的增加。

表5 不同施肥处理对土壤速效养分含量的影响

处理	碱解氮 (mg · kg ⁻¹)	有效磷 (P, mg · kg ⁻¹)	速效钾 (K, mg · kg ⁻¹)
CK	116a	164b	118bc
T1	115a	183b	80c
T2	118a	211ab	110bc
T3	126a	263a	205a
T4	116a	206ab	102bc
T5	118a	202b	128b
T6	122a	179b	177a
T7	114a	213ab	195a

T3 处理的土壤速效钾含量最高, 达到 205 mg · kg⁻¹, 而单纯施用尿素的 T1 处理土壤速效钾含量最低, 仅为 80 mg · kg⁻¹。从表 5 还可以看出, 使用猪粪堆肥作为氮源代替尿素、沼液的处理的土壤速效钾含量与不使用堆肥作为氮源的处理相比 (T5 与 T1、T6 与 T2、T7 与 T4) 差异显著。这是因为, 猪粪堆肥中含有的氮、磷、钾等元素比较均衡, 而且在等氮量的情况下以猪粪堆肥作为氮源一定程度上影响了甘蓝的生长, 造成甘蓝对钾素的吸收也相应的减少。

3 结论与讨论

3.1 在等氮量供应的情况下, 施用猪粪沼液对甘蓝的增产效果显著, 而施用猪粪堆肥的处理产量较低。单

纯施用沼液处理,其植株的全氮、全钾含量最高,全磷含量次高,而单纯施用堆肥处理,其植株全氮含量除比CK处理高以外,比其他处理都低。说明沼液中的氮素形态主要以有效态氮为主,易于被作物吸收,而且其与化肥相比还含有丰富的磷、钾及中、微量元素,能够促进作物的生长。而堆肥中的速效氮素含量较尿素或沼液低,其氮素主要以有机态形式存在,不能在作物生长期完全被吸收利用。施用尿素+沼液处理与单纯施用沼液处理的产量与生物量之比最高,都达到了0.70,说明在等量氮素供应的情况下,施用沼液可促进甘蓝的生物量有效转化,提高了养分的利用效率。由此可见,沼液可以替代化肥为作物提供生长所必需的氮素,进而提高甘蓝的产量。

3.2 施用猪粪堆肥可以提高土壤有机质,提高土壤pH值,减少施用化肥带来的土壤酸化危害。在等氮量的情况下,单纯施用猪粪堆肥处理的土壤有效磷、速效钾含量最高。这是因为,猪粪堆肥中含有的氮、磷、钾等元素比较均衡,但其有效氮素含量较低,在等氮量的情况下甘蓝的生长受到限制,造成甘蓝对土壤磷、钾素的吸收也相应的减少。

3.3 在等氮量的情况下,猪粪厌氧发酵物(沼液)比猪粪好氧发酵物(堆肥)能更好地促进作物生长,提高作物产量;但是沼液是液体且养分含量低,一般施用量较大,应用困难,易发生氨挥发^[12]、渗滤^[13]等环境风险。而猪粪好氧发酵物(堆肥)施用难度小,在提高土壤有机质,提高土壤pH值等改善土壤环境方面具有较好的作用。因此,应该结合二者的优缺点,通过合理搭配利用,在保证环境风险较小的前提下实现猪粪发酵物最大程度地资源化利用,从而促进种养结合型生态农业的发展。

参考文献:

[1] 李勇,李良华,梅书棋,等.利用堆肥化技术对规模化猪

场猪粪无害化处理的研究[J].湖北畜牧兽医,2007,(12):8-9.

- [2] 吴飞龙,叶美锋,林代炎,等.沼液施用量对象草N、P吸收利用效率和土壤N、P养分含量的影响[J].福建农业学报,2011,26,(1):103-107,201.
- [3] 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):43-46,48.
- [4] 李清伟,吕炳南,李慧莉,等.猪粪好氧堆肥研究的进展[J].农机化研究,2007,(1):63-65.
- [5] 孟琳,王强,黄启为,等.猪粪堆肥与化肥配施对水稻产量和氮效率的影响[J].生态与农村环境学报,2008,24(1):68-71,76.
- [6] 孙向平,李国学,肖爱平,等.施用猪粪堆肥对玉米产量及土壤理化性质的影响分析[J].中国麻业科学,2013,35(5):258-264.
- [7] 罗佳,蒋小芳,孟琳,等.不同堆肥原料的有机无机复合肥对油菜生长及土壤供氮特性的影响[J].土壤学报,2010,47(1):97-106.
- [8] 蒋小芳,罗佳,黄启为,等.不同原料堆肥的有机无机复合肥对辣椒产量和土壤生物性状的影响[J].植物营养与肥料学报,2008,14(4):766-773.
- [9] 丁玉梅,李宏光,何金祥,等.有机肥与复合肥配施对烟株根际土壤pH值的影响[J].西南农业学报,2011,24(2):635-639.
- [10] 王玉敏,张恩平,张淑红,等.有机与无机氮肥配施对设施栽培菜田土壤肥力及产量的影响[J].北方园艺,2008,24(9):63-65.
- [11] 朱晓晖,杜晓玉,张维理.有机肥种类对土壤有效磷累积量的影响及其流失风险[J].中国土壤与肥料,2013,(5):14-18.
- [12] Sommer S G, Hutchings N J. Ammonia emission from field applied manure and its reduction - invited paper [J]. European Journal of Agronomy, 2001, 15: 1-15.
- [13] Mantovi P, Fumagalli L, Beretta G P, et al. Nitrate leaching through the unsaturated zone following pig slurry applications [J]. Journal of Hydrology, 2006, 31 (6): 195-212.

Effect of the nitrogen of biogas slurry and composted pig manure on yield of *Brassica oleracea* and soil quality

WU Fei-long, YE Mei-feng, LIN Dai-yan* (Agricultural Engineering Research Institute, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Fuzhou Fujian 350003)

Abstract: The effects of different nitrogen sources from the anaerobic fermented product (Biogas slurry) and the aerobic fermented product (Compost) of pig manure on *Brassica oleracea* growth and soil quality were discussed in this paper. The results indicated that at the same dosages of nitrogen fertilizer, yield of *Brassica oleracea* was higher when biogas slurry was applied than that of when compost was used. Biogas slurry could improve nutrient use efficiency. Meanwhile, the compost could increase soil organic matter and improve soil the value of pH, reducing soil acidification due to fertilizer application. Also, at the same dosages of nitrogen fertilizer, the soil available phosphorus and available potassium with only compost application was the highest.

Key words: pig manure; biogas slurry; compost; *Brassica oleracea*; soil nutrition