

钱玉婷, 杜 静, 曹 云, 等. 外源辅热处理促进鸡粪快速腐熟的效果[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(10): 247–251.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.10.067

外源辅热处理促进鸡粪快速腐熟的效果

钱玉婷, 杜 静, 曹 云, 常志州, 徐跃定, 张建英, 黄红英

(江苏省农业科学院农业资源与环境研究所, 江苏南京 210014)

摘要:为考察外源辅热处理促进畜禽粪便快速腐熟的可行性, 在外源辅热 60 ℃ 和热处理 24 h 条件下, 通过分析升温效果、处理前后混合物料理化特性变化以及发芽指数等腐熟指标, 研究外源辅热处理对不同 C/N 物料(鸡粪/砻糠)腐熟效果的影响, 并采用盆栽和田间试验相结合的方法, 探讨施用热处理物料对作物产量的影响。结果表明: 外源辅热处理有利于脱除供试堆肥物料恶臭味, 堆温上升速度随着砻糠添加比例增加而升高; 理化性状分析发现, 随着砻糠添加比例增加, 热处理后物料 pH 值呈先降低后增加趋势, C/N 均降低并且降幅呈逐渐增加趋势, 而电导率和挥发性脂肪酸含量的变化趋势则相反; 养分分析表明, T1 ~ T4 处理有机碳含量分别比初始下降了 6.29%、3.56%、5.38%、7.06%, 全氮含量分别增加了 13.88%、28.34%、34.30%、53.42%, 处理间差异显著 ($P < 0.05$), 而各处理物料中 P 和 K 含量均有所增加, 但各处理之间差异不显著 ($P > 0.05$), T1 ~ T4 处理总养分 ($N + P_2O_5 + K_2O$) 含量分别较热处理前提高 7.35%、8.36%、10.99%、16.35%, 表明热处理有利于物料养分的保持, 特别是保氮效果较好。施用效果试验发现, 施用热处理物料有明显的促苗和增产作用, 表明外源辅热处理有助于促进鸡粪和砻糠混合物料快速腐熟, 从而证明采用外源辅热处理方式促进畜禽粪便快速腐熟是可行的。

关键词: 外源辅热处理; 畜禽粪便; 快速腐熟; 理化特性; 发芽指数; 养分含量

中图分类号: X713 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2017)10-0247-05

畜禽粪污已成为我国环境的重要污染源之一, 国内外学者对畜禽粪便的处理和资源化利用作了大量的研究^[1-4]。由于畜禽粪便中含有大量的有机质及矿物质元素, 将其肥料化还田利用是行之有效的方法^[5]。然而, 将畜禽粪便直接还田会对农作物产生一定的毒害^[6], 且其水分含量大, 大量施用时机极为不便, 因此堆肥化技术是目前应用最多、最广泛的粪便肥料化处理方法^[7-9]。传统堆肥工艺存在占地面积大、生产周期长、恶臭严重、养分流失大和产品质量不稳定等缺点^[10-11], 且堆肥腐熟的科学鉴定条件较为严格^[12-13], 不利于规模化生产和企业化经营。因此, 探索一条适合畜禽粪便快速腐熟的方法将对现有堆肥工艺技术及堆肥行业产生颠覆性影响, 也是工业生产和实际应用中迫切需要的。

研究表明, 高温更有利于有机物的降解^[14-15], 因此目前开展的有关促进畜禽粪便快速腐熟研究, 多数集中在通过添加辅材、菌剂或利用保温设备等来缩短物料到达高温的时间和延长高温持续的时间方面^[16-18]。Huang 等研究指出, 采用强制通风与机械翻堆相结合的通风方式有利于水溶性 C 的分解和固相 C/N 的降低, 加快堆肥腐熟^[19]。席北斗等通过添加多种天然接种剂或人工驯化的复合微生物菌剂比较研

究, 结果显示, 以复合微生物菌剂或马粪作为接种剂, 能明显提高堆肥初期堆料中高效微生物的总数, 加速堆肥材料的腐熟^[20]。然而, 上述研究均以堆肥物料自然升温为前提, 而对外源辅热条件下畜禽粪便升温情况及是否有利于促进堆料快速腐熟的研究鲜见报道。

本试验在外源辅热温度 60 ℃、热处理时间 24 h 条件下, 通过分析升温效果及处理前后混合物料理化特性变化, 研究外源辅热处理对不同 C/N 物料(鸡粪/砻糠)快速腐熟效果的影响, 并采用盆栽和田间试验相结合的方法, 探讨施用热处理后物料对作物出苗率及产量的影响, 从而证明采用外源辅热处理方式促进畜禽粪便快速腐熟的可行性。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试热处理原料为鸡粪和砻糠, 其中新鲜鸡粪取自江苏省常州立华养鸡场, 砻糠取自江苏省农业科学院粮食作物研究所, 原料的理化性状见表 1。

1.2 试验设计

1.2.1 热处理试验 试验采用自行设计的热处理反应装置(图 1), 反应器所用材料为不锈钢, 圆桶状, 有效容积 28 L(直径 30 cm, 高 40 cm), 外层加热夹套厚度为 2 cm, 采用甲基硅油作为加热介质。反应器设计顶部搅拌装置, 分上中下 3 层搅拌叶片, 并在反应器搅拌轴上安装 3 个温度探头, 分别监测上中下 3 层物料温度, 并将探头与自动监测装置相连, 定时记录物料温度。反应供氧方式为搅拌通风, 设置通风量为 10 L/min, 搅拌频次为 5 min/h, 搅拌转速为 20 r/min。

热处理试验根据不同配比(鸡粪/砻糠)共设置 4 个处理(表 2), 每个处理材料的鲜质量为 14 kg。将粉碎后的砻糠与

收稿日期: 2016-01-29

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项(编号: 201403019、201503135-17); 江苏省自然科学基金青年基金(编号: BK20150542)。

作者简介: 钱玉婷(1984—), 女, 江苏如皋人, 硕士, 助理研究员, 主要从事有机固体废弃物资源化利用研究。Tel: (025) 84391676; E-mail: yutingqian2006@163.com。

通信作者: 黄红英, 博士, 研究员, 主要从事农业废弃物资源化研究。Tel: (025) 84390243; E-mail: sfmicrolab@yahoo.com.cn。

表 1 原料的主要理化性状

原料	含水率 (%)	pH 值	有机碳含量* (%)	全氮含量* (%)	全磷含量* (%)	全钾含量* (%)	C/N
鸡粪	62.09 ± 1.35	7.89 ± 0.06	28.79 ± 1.79	1.96 ± 0.07	2.55 ± 0.02	2.67 ± 0.03	14.70 ± 0.44
砉糠	9.74 ± 0.67	—	42.02 ± 1.65	0.37 ± 0.02	0.11 ± 0.01	1.05 ± 0.02	113.55 ± 2.39

注：“*”所示指标以干基计。

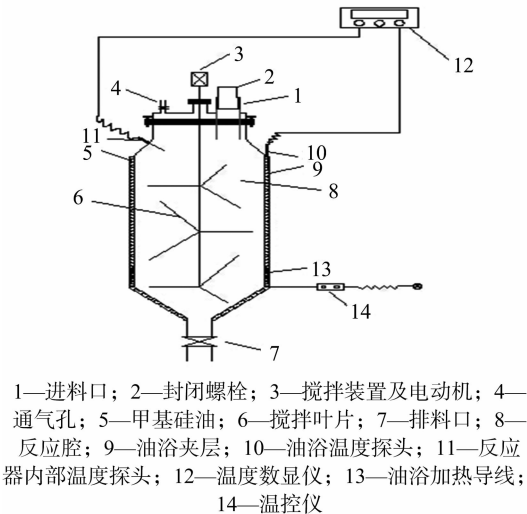


图1 热处理反应装置图示

鸡粪按表 2 中的配方混合,以自来水调节物料含水率为 60% 左右^[21],充分混匀,装入反应装置中,设定反应装置的加热温度为 60 ℃,恒温反应 24 h 后终止反应。热处理结束后分别于反应器的上、中、下 3 处采集样品,均匀混合后,分为鲜样和风干样 2 份。取 10 g 处理后的新鲜样品,按固水比 1 g : 5 mL 添加蒸馏水,于室温下 200 r/min 振荡 30 min,用定性滤纸过滤,滤液用于 pH 值、电导率(EC)、发芽指数(GI)测定;经 0.45 μm 滤膜过滤后用于测定挥发性脂肪酸(TVFA)含量;风干样粉碎过 60 目筛后用于 C、N、P、K 含量的测定。

表 2 热处理试验装料方案设计

处理	各组分质量(kg)		C/N
	鸡粪	砉糠	
T1	14.0	0	14.70
T2	13.0	1.0	18.58
T3	11.0	3.0	25.51
T4	9.5	4.5	32.86

1.2.2 应用试验 应用试验分为盆栽试验和田间试验,于 2015 年 9—11 月在江苏省农业科学院温室大棚内进行。供试土壤取自江苏省农业科学院内试验田水稻土(0 ~ 20 cm),基本理化性质为: pH 值 7.55,电导率 270.00 μS/cm,有机质含量 29.70 g/kg,全氮含量 1.54 g/kg,全磷含量 0.58 g/kg,碱解氮含量 124.80 mg/kg,速效磷含量 23.70 mg/kg,速效钾含量 115.40 mg/kg;土壤采回后自然风干,过 2 mm 筛后备用。供试白菜(*Brassica chinensis* L.)品种为矮脚黄,种子由江苏省明天种业公司提供;供试商品有机肥购自南京宁粮生物肥料有限公司,主要含总有机碳 23.3%、总氮 3.66%、磷 0.34%、钾 1.07%。

盆栽试验在长方形敞口塑料盒(41 cm × 26 cm × 8 cm)中进行,田间试验单个小区面积 2.3 m²(2.3 m × 1 m)。试验设

6 个处理,包括热处理产物(T1 ~ T4)、不施肥(CK1)和市购商品有机肥(CK2),每个处理 6 个重复。商品肥(CK2)、热处理产物均作基肥一次性施用,于播种前与土壤混合,试验过程中不再追肥。各处理采用等氮量施肥,施氮量为 90 kg/hm²,播种量为 5.5 kg/hm²,试验周期为 35 d。

1.3 测试指标及方法

试验过程中取样测定有关指标: (1) 物料温度。由温度自动记录仪直接读出,多点测量取平均值。 (2) 含水率。采用 105 ℃ 烘干 24 h,差重法测定^[22]; pH 值采用精密 pH 计(METER 6219)测定; EC 采用雷磁 DDS - 307 电导率仪测定^[23]; C、N、P、K 含量的测定按照有机肥料标准^[24]。 (3) TVFA 含量。采用气相色谱法(GC - 2104,日本岛津)测定,将浸提液在 4 ℃ 下 12 000 r/min 离心 20 min,取上清液过 0.45 μm 滤膜后用于测定乙酸、丙酸和丁酸等含量(GC - 2014,日本岛津),使用 Stabilwax - DA 30 m × 0.53 mm × 0.25 μm 型毛细管柱, FID 检测器,检测器温度为 240 ℃,进样器温度为 150 ℃,不分流。 (4) 发芽指数。参照文献[25]。

1.4 数据整理与分析

采用 Origin 8.0 和 SPSS 13.0 软件进行数据整理和统计分析。

2 结果与分析

2.1 热处理物料的物理性状

2.1.1 感官变化 试验期间观察不同处理物料热处理前后的感官情况,结果发现,热处理前,鸡粪呈黄褐色,砉糠为淡黄色,混合后的物料颜色为棕色,块状,气味难闻;随着热处理的进行,12 h 后物料臭味逐渐减轻,热处理结束后,所有处理物料均转变为褐色,除了 T1 处理仍带有部分粪臭味,其他处理基本无粪便所散发的恶臭味;在物料疏松程度方面, T1 处理物料仍有较大结块, T2 处理表现疏松,部分结块, T3 和 T4 处理均成疏松的粒状。

2.1.2 物料温度变化 由图 2 可知,各处理物料因鸡粪/砉糠配比不同,导致初始物料温度存在一定差异。各处理物料温度变化趋势相似,表现为先迅速增加, T1 ~ T4 处理物料温度分别于热处理后 4、4、3、3 h 达到最大值,分别为 73、75、77、85 ℃;随后逐渐降低并于热处理后 12 h 基本稳定于 70 ~ 80 ℃。从热处理期间各处理物料平均温度来看, T1 ~ T4 处理物料平均温度分别为 69、71、73、79 ℃,可见,物料温度的上升速度随砉糠添加比例的增加而增大,并且稳定期物料温度存在相同趋势。

2.1.3 物料含水率变化 T1 ~ T4 处理物料热处理前初始含水率均为 60%,经热处理 24 h 后分别降至 49.36%、47.64%、46.16%、43.30%,与初始含水率相比分别降低 17.7%、20.6%、23.1%、27.8%,可见热处理后物料含水率随着砉糠添加比例的增加而降低。

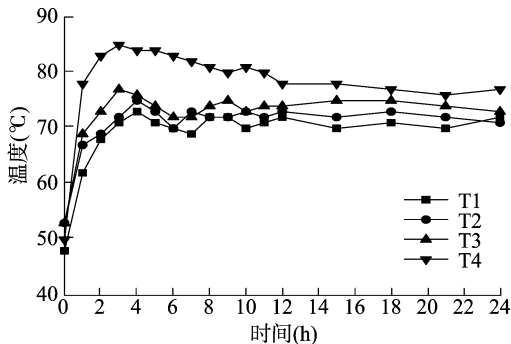


图2 热处理过程中物料温度的变化情况

2.2 热处理物料的化学性状变化

分析不同热处理前后的样品,其主要化学性状变化情况见表3。pH 值反映了物料酸碱性强弱程度,受 H^+ 、 HCO_3^- 、 HSO_4^- 及小分子有机酸含量的影响。从表3可以看出,不同处理经热处理后 pH 值变化趋势并不一致,除 T1 处理外, T2 ~ T4 处理均有所升高,可能由于砻糠添加比例不同导致堆肥物料通透性差异, T1 处理局部出现厌氧环境产生酸化所致。EC 值反映了物料中的含盐量,直接影响肥料施用后作物的生长,经过外加热高温热处理后,由于物料的分解产生大量的小分子有机酸及 HCO_3^- 、 HSO_4^- 、 H^+ 等离子^[26], T1 ~ T4 处理的 EC 值分别比初始增加 54.29%、43.64%、32.26%、16.17%,可见 EC 值随着砻糠添加比例的增加而呈现下降

表3 热处理物料化学性状的变化

处理	处理前							
	pH 值	EC(mS/cm)	有机碳含量(%)	总氮含量*(%)	总磷含量*(%)	总钾含量*(%)	总养分含量*(%)	C/N*
T1	7.16 ± 0.02	3.50 ± 0.11	28.79 ± 2.06	1.96 ± 0.17	2.55 ± 0.12	2.67 ± 0.15	11.02 ± 0.44	14.70
T2	7.16 ± 0.01	3.46 ± 0.08	31.15 ± 1.81	1.68 ± 0.11	2.12 ± 0.04	2.39 ± 0.22	9.41 ± 0.37	18.59
T3	7.14 ± 0.02	3.41 ± 0.06	34.00 ± 1.74	1.33 ± 0.08	1.59 ± 0.15	2.04 ± 0.13	7.42 ± 0.36	25.51
T4	7.15 ± 0.03	3.34 ± 0.11	35.98 ± 0.92	1.10 ± 0.23	1.22 ± 0.07	1.79 ± 0.21	6.06 ± 0.51	32.86
处理	处理后							
	pH 值	EC (mS/cm)	有机碳含量* (%)	总氮含量* (%)	总磷含量* (%)	总钾含量* (%)	总养分含量* (%)	TVFA 含量 (g/kg)
T1	6.93 ± 0.02	5.40 ± 0.17	26.98 ± 1.97	2.23 ± 0.13	2.59 ± 0.12	3.05 ± 0.07	11.83 ± 0.32	33.21 ± 1.88
T2	7.21 ± 0.06	4.97 ± 0.13	30.04 ± 0.99	2.00 ± 0.26	2.17 ± 0.24	2.58 ± 0.26	10.20 ± 0.76	28.19 ± 2.05
T3	7.29 ± 0.02	4.51 ± 0.07	32.17 ± 2.09	1.79 ± 0.33	1.61 ± 0.09	2.29 ± 0.31	8.24 ± 0.73	20.26 ± 0.89
T4	7.41 ± 0.03	3.88 ± 0.21	33.44 ± 1.54	1.68 ± 0.11	1.27 ± 0.22	2.03 ± 0.23	7.05 ± 0.56	17.94 ± 1.11

注:“*”表示分析指标以干基计,其余为新鲜样品计。

2.3 热处理物料的生物学性状变化及应用效果分析

2.3.1 发芽指数(GI)变化 种子发芽指数被认为是评价物料有无植物毒性的最具说服力的指标^[28]。Carcia 等认为,当 GI>50% 时,可以认为对植物已基本没有毒性^[28]。从图3可以看出, T1 ~ T4 处理经 24 h 热处理后的 GI 值差异显著($P < 0.05$),分别为 12.62%、22.97%、39.35%、58.00%,表现出随着砻糠添加比例的增加而增加的趋势,并且除 T4 处理外,其余处理 GI 值均低于 50%,表明 T1 ~ T3 热处理后物料均未达到无害化的标准,鸡粪中适当增加砻糠比例,有助于促进热处理物料无害化处理效果。

2.3.2 热处理物料施用效果 为了进一步验证热处理后物料对植物的毒害情况,同时开展了盆栽和田间试验,结果见表4。从矮脚黄出苗率分析来看,盆栽试验中施用热处理物料处理组显著低于CK1和CK2处理($P < 0.05$),并且随着砻糠添

趋势。

从对热处理前后物料养分含量分析来看, T1 ~ T4 处理有机碳含量分别比初始下降 6.29%、3.56%、5.38%、7.06%,而全氮含量则分别升高 13.88%、19.05%、34.59%、52.73%,各处理物料中 P 和 K 含量均有所增加。从总养分($N + P_2O_5 + K_2O$)来看, T1 ~ T4 处理分别较热处理前提高 7.35%、8.40%、11.05%、16.33%,可见热处理有利于物料养分的保持,特别是保氮效果显著。

C/N 是肥料品质的重要评价指标, C/N 过高的热处理成品施入土壤后,将夺取土壤中的氮素,造成植物的“氮饥饿”;而 C/N 过低,则氮素过多,施入土壤后会造植物“烧苗”现象,一般认为合适的 C/N 为(15~20):1^[27-28]。从表3中可以看出,经热处理后物料 C/N 均有所降低,但各处理间降幅差异明显, T1 ~ T4 处理 C/N 分别较热处理前降低 17.69%、19.20%、29.56%、39.41%,表现为随着砻糠添加比例的增加,其降幅呈逐渐增加趋势;对照肥料适宜 C/N 要求,除 T1 处理 C/N 过低(仅为 12.10)外,其余处理均在适宜范围内。值得一提的是,试验期间对热处理后物料进行了 TVFA 含量分析,各处理 TVFA 含量趋势表现为 T1 > T2 > T3 > T4,即随着砻糠添加比例增加呈明显下降趋势,可能由于砻糠添加量较低处理组堆肥物料通透性不佳,局部产生厌氧环境,从而使有机物分解产生较多的挥发性有机酸所致。

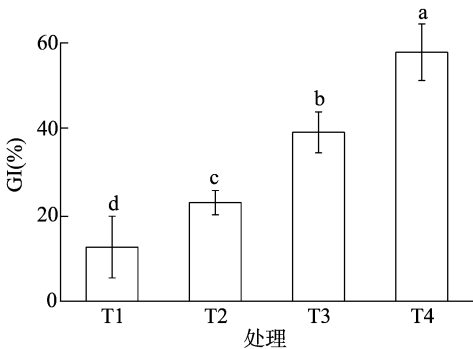


图3 热处理后物料发芽指数(GI)变化

加比例增加呈逐渐增高趋势,但热处理物料间差异不显著($P > 0.05$);而田间试验却表现出截然不同的规律,施用热处理物料处理组均明显高于 CK1,除 T3 和 T4 处理与 CK2 基本

相当外,其余处理略低,热处理间变化趋势与盆栽试验类似,同样表现为差异不显著($P>0.05$)。

从矮脚黄总产量来看,盆栽试验各处理间产量趋势与其出苗率相一致,但各处理间差异基本显著;而田间试验结果显示,除 T1 处理显著低于 CK2 处理($P<0.05$)外,其余热处理物料处理组产量显著高于 CK1 和 CK2($P<0.05$),但 T2~T4 处理间差异不显著($P>0.05$),T2~T4 处理田间产量分别较 CK1 和 CK2 提高 260.89% 和 23.02%、263.35% 和 23.86%、285.61% 和 31.45%。而从矮脚黄田间收获总干质量分析来看,除 T2~T4 处理与 CK2 之间差异不显著($P>0.05$)外,各

处理间其余变化趋势与总产量完全一致。

总体上讲,盆栽试验中施用热处理物料表现出明显的抑制作用,但随着砻糠比例增加呈逐渐降低趋势,这与热处理物料发芽指数(GI)变化趋势相一致,表明对盆栽试验植株抑制作用随着物料无害化程度增加而明显降低;而田间试验中施用热处理物料却表现出明显的促苗和增产作用,除 T1 处理外,施用其余热处理物料处理在植株生物量指标上与商品有机肥 CK2 相当,表明经外源辅热处理后物料不仅可实现无害化,而且具有增产效果。

表 4 热处理物料对矮脚黄青菜出苗率和生物量的影响

处理	出苗率(%)		总产量*(g)		总干质量*(g)	
	盆栽	田间	盆栽	田间	盆栽	田间
CK1	94.54±2.96a	62.18±1.06c	208.47±29.43a	826.39±113.24d	15.48±0.99a	70.13±4.72c
CK2	92.71±2.34a	92.28±15.87ab	162.49±15.87b	2 424.33±202.86b	11.55±1.14b	184.16±3.43a
T1	77.14±5.39b	86.86±0.68b	48.18±7.40d	1 878.33±61.92c	4.76±0.32d	154.26±3.47b
T2	77.67±1.47b	91.43±3.57ab	57.19±5.56d	2 982.33±104.03a	5.12±0.34d	185.49±4.49a
T3	78.01±2.71b	92.23±3.03ab	105.00±9.03c	3 002.67±103.47a	8.33±0.73c	188.14±2.75a
T4	82.42±2.78b	93.65±2.46a	158.42±7.73b	3 186.67±148.5a	11.94±0.75b	190.49±5.08a

注:“*”表示以盆栽试验各处理单盆和田间试验各处理小区平均值为测算依据。同列数据后不同字母代表差异显著($P<0.05$),相同字母代表差异不显著($P>0.05$)。

3 讨论

研究表明,土壤中施入有机物能改善土壤微生态环境,提高土壤生态肥力^[29]。而本试验施用热处理后物料在盆栽和田间试验中表现出截然不同的结果,因此试验结束后采集盆栽和田间试验的土壤,分别测量土壤中 pH 值和 EC 情况,结果如图 4 所示,在盆栽试验中施用热处理物料处理土壤中的 pH 值显著低于 CK1 和 CK2($P<0.05$),而电导率却显著高于 CK1 和 CK2($P<0.05$);在田间试验中,所有处理之间 pH 值差异均不显著,而电导率除 T1 处理显著较高外,其余处理间电导率均表现为差异不显著($P>0.05$)。研究表明,EC 值 <2.50 mS/cm 更适合植物的生理生长^[30-32]。从表 3 可以看出,热处理物料 EC 值均远远高于 2.50 mS/cm,但应用效果试验结束后,T1~T4 处理 EC 值均明显降低,并且随着砻糠比例增加,其降幅明显增大,而田间试验 EC 值远远低于盆栽试验。结合表 3 和表 4 分析结果来看,施用热处理物料受到物料本身 pH 值和 EC 影响较大,特别是相对封闭环境的盆栽试验中表现得较为突出,而在田间小区试验中却不明显,相关性分析结果表明,盆栽试验产量与各处理土壤 pH 值显著正相关($r=0.812, P<0.05$),而与土壤 EC 呈极显著负相关($r=-0.986, P<0.01$),从而证明盆栽试验中热处理物料由于其自身 pH 值和 EC 差异,对植株产量产生较大影响;而田间试验中却无任何相关性,可能虽然热处理物料从 GI 角度(除 T4 外)来看尚未达无害化要求,但在农田环境下经过土壤的消解作用后并没有对植物的生长产生毒性,反而促进了生长,这一点从田间试验 EC 值远远低于盆栽试验中可以得到证实,但具体作用机理有待进一步的研究。

本试验发现,鸡粪和砻糠混合物料经外源辅热处理 24 h 后可以快速脱除恶臭、缩小体积、提高养分、增加植物产量,热处理产物对田间试验作物生长基本无害,这一结果与发芽指

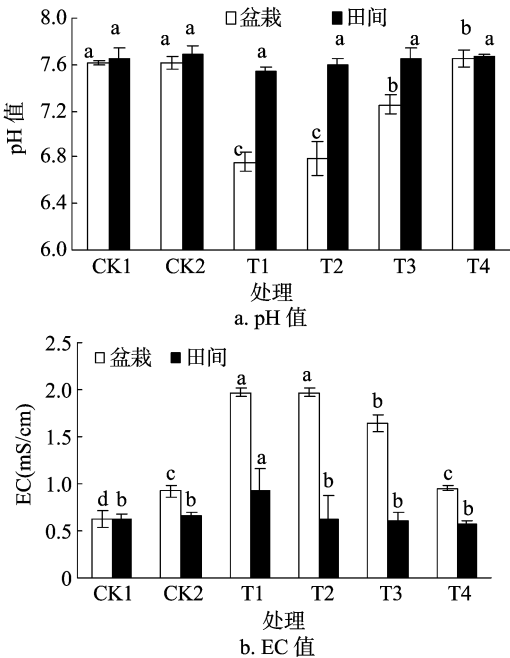


图 4 各处理盆栽和田间土壤 pH 值和 EC 的变化情况

数 GI 结果相矛盾,可见单纯依靠无害化指示指标(发芽指数 GI)无法准确反映物料是否达到无害化要求。常志州等认为,目前有机物料的评价性状与实际应用间存在脱节现象,应根据施用目的与作物对象不同,将有机物料处理产物分为土壤改良剂、生育期较长作物肥料、生育期较短作物肥料和栽培基质 4 种^[33]。若根据此分类标准,热处理产物可作为田间土壤改良剂施用,其应用目标的确定将大大拓展畜禽粪便快速无害化处理技术发展。鸡粪和砻糠混合物料经外源辅热处理 24 h 后,其田间施用效果表现出较好的促苗和增产效果,但盆栽试验中结果有较大差异,因此后续有必要开展热处理物

料的促增产机理研究,且针对不同热处理时间对无害化处理及增产效果的影响,进一步优化热处理工艺方案。此外,本试验通过估算外源辅热处理的成本,评估该处理方式在经济上的可接受性,由于此部分内容拟在后续工程应用方面的文章中发表,在此不作赘述。

4 结论

外源辅热处理后物料从感官上表现为恶臭基本脱除,物料体积大大降低;物料温度上升速度随着砻糠比例增加而增大,而热处理后物料含水率却随之降低。理化性状分析发现,随着砻糠添加比例增加,热处理后物料 pH 值呈先降低后增加趋势,C/N 均降低并且降幅呈逐渐增加趋势,而 EC 和 TVFA 含量却呈现相反趋势;养分含量分析表明,热处理有利于物料养分的保持,特别是保氮效果显著。施用效果试验显示,施用热处理物料有明显的促苗和增产作用,表明外源辅热处理有助于促进鸡粪和砻糠混合物料的无害化处理效果,从而证明了采用外源辅热处理方式促进畜禽粪便快速无害化是可行的。

参考文献:

- [1] Liao W, Liu Y, Liu C, et al. Acid hydrolysis of fibers from dairy manure[J]. *Bioresource Technology*, 2006, 97(14): 1687–1695.
- [2] Ro K, Cantrell K, Hunt P, et al. Thermochemical conversion of livestock wastes: carbonization of swine solids [J]. *Bioresource Technology*, 2009, 100(22): 5466–5471.
- [3] 王志凤. 利用蚯蚓处理畜禽养殖业固体废弃物的技术研究[D]. 济南: 山东师范大学, 2007.
- [4] 刘本洪, 甘炳成, 黄忠乾, 等. 以鸡粪为原料的蘑菇专用基料及其生产方法: 200510021338.6[P]. 2006: 02–22.
- [5] 秦翠兰, 王磊元, 刘 飞, 等. 畜禽粪便生物质资源利用的现状与展望[J]. *农机化研究*, 2015, 37(6): 234–238.
- [6] 刘更另. 中国有机肥料[M]. 北京: 农业出版社, 1991: 38–59.
- [7] 赵建荣, 高德才, 汪建飞, 等. 不同 C/N 下鸡粪麦秸高温堆肥腐熟过程研究[J]. *农业环境科学学报*, 2011, 30(5): 1014–1020.
- [8] Trémier A, Teglia C, Barrington S. Effect of initial physical characteristics on sludge compost performance[J]. *Bioresource Technology*, 2009, 100(15): 3751–3758.
- [9] Körner I, Braukmeier J, Herrenklage J, et al. Investigation and optimization of composting processes – test systems and practical examples [J]. *Waste Management*, 2003, 23(1): 17–26.
- [10] 贺 琪, 李国学, 张亚宁, 等. 高温堆肥过程中的氮素损失及其变化规律[J]. *农业环境科学学报*, 2005, 24(1): 169–173.
- [11] 王小琳, 陈世昌, 袁国锋, 等. 促腐剂在鸡粪堆肥发酵中的应用研究[J]. *植物营养与肥料学报*, 2009, 15(5): 1210–1214.
- [12] 李 洋, 席北斗, 赵 越, 等. 不同物料堆肥腐熟度评价性状的变化特征[J]. *环境科学研究*, 2014, 27(6): 623–627.

- [13] Bernal M, Albuquerque J, Moral R. Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment [J]. *Bioresource Technology*, 2009, 100(22): 5444–5453.
- [14] Cayuela M L, Sanchez – Monedero M A, Roig A. evaluation of two different aeration systems for composting two – phase olive mill wastes[J]. *Process Biochemistry*, 2006, 41(3): 616–623.
- [15] 席北斗, 李英军, 刘鸿亮, 等. 温度对生活垃圾堆肥效率的影响[J]. *环境污染治理技术与设备*, 2005, 6(7): 33–36.
- [16] 石文军, 杨朝晖, 肖 勇, 等. 全程高温好氧堆肥快速降解城市生活垃圾[J]. *环境科学学报*, 2009, 29(10): 2126–2133.
- [17] 徐 智, 张淦利, 梁丽娜, 等. 不同体积堆肥装置下的鸡粪堆肥效果研究[J]. *农业工程学报*, 2008, 24(10): 205–208.
- [18] 许爱霞, 钱余芹. 发酵菌剂对鸡粪堆肥发酵的影响[J]. *江苏农业科学*, 2014, 42(1): 332–333.
- [19] Huang G F, Wu Q T, Wong J W, et al. Transformation of organic matter during co – composting of pig manure with sawdust [J]. *Bioresource Technology*, 2006, 97(15): 1834–1842.
- [20] 席北斗, 孟 伟, 黄国和, 等. 生活垃圾堆肥接种技术[J]. *环境科学*, 2003, 24(1): 157–160.
- [21] 吴遥远, 张 桥, 余新盛. 现代堆肥影响因素及控制[J]. *安徽农学通报*, 2007(13): 69–71.
- [22] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [23] 吴华山, 常志州, 靳红梅, 等. 不同腐熟度猪粪、奶牛粪在矮脚黄青菜和香瓜上施用的农学效用研究[J]. *农业资源与环境学报*, 2014, 31(5): 417–424.
- [24] 有机肥料: NY 525—2012 [S].
- [25] 赵玉娇, 贺 萌, 呼世斌, 等. 牛粪和红薯秸秆静态高温堆肥研究[J]. *农机化研究*, 2012, 34(12): 218–222.
- [26] 展跃平, 小山·太. 畜禽粪便堆肥化试验[J]. *当代畜牧*, 2002(11): 35–36.
- [27] 张福锁, 龚元石, 李晓林. 土壤与植物营养研究动态[M]. 北京: 中国农业出版社, 1995: 319–349.
- [28] Carcia C, Hernaandez T, Costa F, et al. Elvaluation of the maturity of municipal waste compost using simple chemical paramenters [J]. *Common soil Sci Plant Annal*, 1992, 23: 1501–1512.
- [29] Zhu N. Composting of high moisture content swine manure with corncob in a pilot – scale aerated static bin system[J]. *Bioresource Technology*, 2006, 97(15): 1870–1875.
- [30] Zucconi F, Monaco A, Debertoldi M. Biological evaluation of compost maturity[J]. *Bio Cycle*, 1981, 22(4): 27–29.
- [31] Veerapan C, Hiroshi K. Carbon/organic nitrogen ratio in water extract as measure of composting degradation [J]. *Journal of Fermentation Technology*, 1981(59): 215–219.
- [32] 张 鸣, 高天鹏, 刘玲玲, 等. 麦秆和羊粪混合高温堆肥腐熟进程研究[J]. *中国生态农业学报*, 2010, 18(3): 566–569.
- [33] 常志州, 于建光, 黄红英, 等. 有机物料“差别堆腐”及其评价方法初探[J]. *江苏农业学报*, 2013, 29(2): 305–311.