

不同腐熟程度麦秸堆肥在温室番茄栽培中应用效果研究^①

高新昊^{1,2}, 刘兆辉^{1*}, 张志斌², 江丽华¹

(1 山东省农业科学院土壤肥料研究所, 济南 250100; 2 中国农业科学院蔬菜花卉研究所, 北京 100081)

摘要: 堆肥是农业废弃物资源化利用有效的途径之一, 作为土壤改良剂使用时具有良好的改土增产效果。本文以常规土壤栽培作为对照, 将堆制 30 天与 90 天两种不同腐熟程度麦秸堆肥植入土壤, 考察其在日光温室番茄栽培系统中的改土增产效果。结果表明: 与对照相比, 土壤添加麦秸堆肥显著改善了其物理性状, 降低了土壤体积质量 (容重), 提高了土壤大小孔隙比, 30 天与 90 天两种堆肥处理下土壤体积质量分别降低至 0.8263、0.9003 g/cm³, 大小孔隙比分别提高至 1:3.51、1:4.78; 两种堆肥处理均提高了番茄叶片的净光合速率, 座果期 30 天堆肥、90 天堆肥及对照 3 种处理下番茄叶片净光合速率分别为 CO₂ 21.18、18.77、18.65 μmol/(m·s), 采收期分别为 CO₂ 21.21、20.93、18.92 μmol/(m·s), 并且两个时期下 30 天堆肥处理均与对照处理达到显著差异; 同时, 两种堆肥处理均显著增加了番茄产量, 3 种处理下每栽培小区番茄产量分别达到 82.48、80.25、68.66 kg。30 天堆肥处理在改善土壤物理性状、提高番茄叶片净光合速率与番茄产量上的作用效果高于 90 天堆肥处理, 表明秸秆堆肥在作为设施土壤改良剂施用, 完全腐熟并不是最佳腐熟程度, 实际应用中应根据堆肥物料及堆制时期的差异合理确定堆制时间与腐熟程度。

关键词: 麦秸; 堆肥; 腐熟程度; 日光温室; 番茄; 应用效果

中图分类号: S641

我国是世界上设施园艺面积最大的国家, 目前土壤栽培仍然是我国设施作物栽培的主要方式。常年的集约化利用造成设施内土壤理化性状严重恶化, 连作障碍发生严重^[1-2], 其中过量施用化肥与养分不协调是重要原因之一, 因此应强调增施有机肥改善土壤结构与增加土壤有益微生物含量^[3]。相关研究表明, 土壤添加堆肥可有效地改善其理化性状, 提高土壤肥力, 达到改土增产的效果^[4-6], 可利用的堆肥材料包括造纸污泥^[7]、禽畜粪便^[8]、生活垃圾^[9]、食用菌下脚料^[10]等。另一方面, 我国是农业大国, 作物秸秆资源丰富, 每年的秸秆产量约在 7 亿 t 左右^[11], 但秸秆利用效率极低, 相当大一部分秸秆被肆意焚烧、废置, 造成严重的环境污染与资源浪费^[12]。目前秸秆在农业上的利用方式多为直接还田^[13-14], 关于不同腐熟程度秸秆堆肥在设施蔬菜栽培过程中的改土增产效果研究报道甚少。本试验以小麦秸秆为试材, 将两种不同腐熟程度麦秸堆肥应用到日光温室番茄栽培过程, 考察其对土

壤的改良效果及对番茄生长发育的影响, 以期对农业废弃物的资源化利用及设施内土壤改良提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验于 2004 年 2 月至 2004 年 7 月在中国农业科学院蔬菜花卉研究所日光温室进行, 供试番茄品种为中杂 9 号; 试验区土壤养分状况: 有机质 32.4 g/kg、速效 N 178 mg/kg、速效 P 352 mg/kg、速效 K 391 mg/kg; 试验用秸秆取自中国农业科学院作物研究所试验农场。

1.2 试验方法

试验共设 3 个处理: 土壤添加堆制 30 天麦秸堆肥、土壤添加堆制 90 天麦秸堆肥和常规土壤栽培对照, 分别计为 30 天、90 天和 CK; 堆肥的制作为: 麦秸风干粉碎至 1~5 cm, 按重量比添加 15% 干鸡粪与 1% 尿素, 调整含水量 600 g/kg 与 C/N 比 30 左右进行

①基金项目: 山东省博士后创新基金项目(200803018)、国家科技支撑计划项目(2006BAD17B07)和山东农科院创新基金项目(2007YCX023-01)资助。

* 通讯作者

作者简介: 高新昊(1979—), 男, 山东莱芜人, 博士, 主要从事设施园艺及农业面源污染方面的研究。E-mail: gaixinhao@yahoo.com.cn

高温堆制,以塑料薄膜密闭,通过翻堆补充水分与氧气:第一次翻堆于堆制第 4 天进行,然后每 7 天进行翻堆(5 次),最后每 15 天进行翻堆(2 次),后期保持自然;堆肥于 2003 年 10 月 8 日至 2004 年 1 月 8 日进行,分别于堆制第 30 天与第 90 天取样风干备用;两种腐熟程度堆肥基本养分含量如下,30 天堆肥:C/N 比 15.1、速效 N 912 mg/kg、速效 P 1.14 g/kg、速效 K 15.6 g/kg;90 天堆肥:C/N 比 11.4、速效 N 987 mg/kg、速效 P 1.06 g/kg、速效 K 18.5 g/kg;试验区土壤于翻地前按 400 kg/hm²施入三元复合肥(含 N-P₂O₅-K₂O 为 15-15-15),然后做成长 5.4 m、宽 0.5 m 平畦,堆肥的施用为栽培畦挖 30 cm 深沟后填充堆肥,分 3 次施入,每施一层堆肥覆盖一层土壤,堆肥植入后将土壤踩平压实,每栽培畦共施风干样堆肥 6 kg;每栽培畦为一小区,每小区定植番茄 30 株,随机区组设计,3 次重复。番茄于 2004 年 2 月 10 日育苗,3 月 11 日定植,留 5 穗果摘心,其他管理如常。

1.3 测定项目与方法

定植前取不同处理 0 ~ 20 cm 土样测定体积质量(容重)、孔隙度^[15];采收初期采用丙酮、乙醇混合液法测定番茄叶片中的叶绿素含量;番茄座果期与采收

期以 Li-6400 光合仪分别测定番茄第 13 与 18 片真叶的光合作用;采收期以小区为单位记录座果数与产量。

2 结果与分析

2.1 堆肥腐熟过程中温度变化分析

温度是评价堆肥稳定度的重要指标,堆肥温度的变化反映了堆肥过程中微生物活性的变化,这种变化与堆肥中可被氧化分解有机质的含量呈正相关,堆肥堆制过程中温度呈先迅速升高后逐渐降低的变化趋势,当其温度趋于环境温度时即被认为已达稳定^[16]。本试验麦秸堆制过程中温度变化见图 1,堆肥温度在堆制第 6 天上升至 60℃ 以上,最高温度出现在堆制第 7 天,为 64.05℃;第 4 次翻堆(堆制第 24 天)后,堆肥最高温度开始低于 55℃,第 5 次翻堆(堆制第 31 天)后,堆肥温度明显降低,表明此时秸秆的前期发酵已经结束,已具备较高的安全性并可作为堆肥利用。第 7 次翻堆(堆制第 53 天)后堆肥温度开始趋于环境温度,表明此时堆肥已基本达到腐熟状态,后期保持较好稳定性。从温度指标来看,堆制 30 天时秸秆未达完全腐熟程度,而堆制 90 天后秸秆达到完全腐熟。

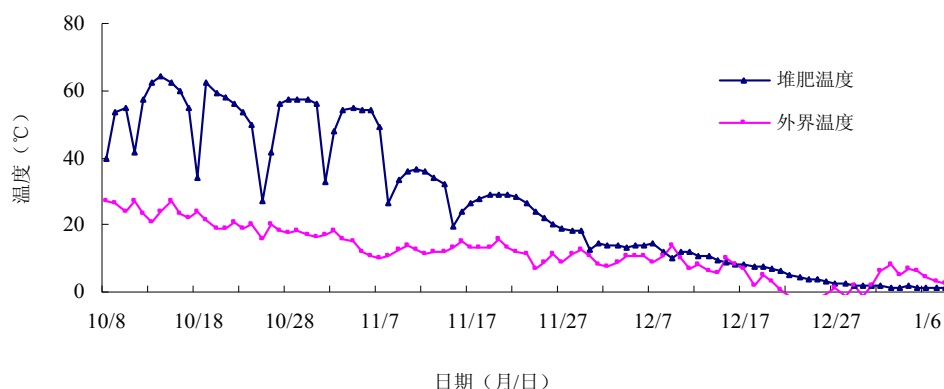


图 1 堆肥堆制过程中温度变化分析

Fig. 1 Change of compost temperature during composting process

2.2 不同腐熟程度麦秸堆肥物理性状分析

如前所述,堆制 30 天与 90 天的麦秸堆肥养分含量差异不大,C/N 比分别降至 15.1 与 11.4,表明从化学指标来看两种堆肥均达到了腐熟程度,但两种腐熟程度堆肥的物理性状存在显著差异(表 1)。随堆制天数的增加,堆肥的干湿体积质量均显著增加,90 天堆肥较 30 天仍有较大程度提高;随通气孔隙

的显著降低与持水孔隙的显著提高,堆肥总孔隙度表现出降低趋势,但各处理间差异显著性降低;堆肥大小孔隙比随堆制天数的增加得到显著改善,90 天堆肥大小孔隙比已降至 2 左右。表明秸秆堆肥化学性状的变化主要发生在堆制前期(高温期),而高温期后的后熟作用仍然对堆肥的物理性状产生较大影响。

表 1 不同腐熟程度秸秆物理性状差异分析

Table 1 Effects of composting time on physical characteristics of wheat straw

堆制天数	干体积质量 (g/cm ³)	湿体积质量 (g/cm ³)	总孔隙度 (%)	通气孔隙 (%)	持水孔隙 (%)	大小孔隙比
0 天	0.0308 c	0.1079 c	86.28 a	78.57 a	7.71 c	1:0.10 a
30 天	0.0665 b	0.2214 b	84.39 ab	68.90 b	15.49 b	1:0.22 b
90 天	0.1024 a	0.3843 a	83.40 b	55.22 c	28.18 a	1:0.51 c

注：同列不同字母表示 $p < 0.05$ 水平时差异显著，下同。

2.3 不同处理对土壤物理性状的改良效果

土壤添加堆肥有效地改善了其物理性状（表 2）。但由于 30 天堆肥与 90 天堆肥间物理性状存在较大差异，两种堆肥处理对土壤物理性状的改良效果不一。与对照处理相比，堆肥处理显著降低了土壤体积质量，但两个处理间差异不显著；30 天堆肥处理显著增加了

土壤总孔隙度，而 90 天堆肥处理的作用效果低于 30 天堆肥；两种堆肥处理均增加了土壤的通气孔隙，降低了持水孔隙，其中对通气孔隙的影响大于持水孔隙，不同处理间通气孔隙的差异均达显著水平；两种堆肥处理均显著改善了土壤的大小孔隙比，并且 30 天堆肥处理的作用效果大于 90 天堆肥处理。

表 2 堆肥处理对土壤物理性状的改良

Table 2 Effects of compost treatments on soil properties

处理	干体积质量 (g/cm ³)	总孔隙度 (%)	通气孔隙 (%)	持水孔隙 (%)	大小孔隙比
30 天	0.8263 b	59.52 a	13.24 a	46.28 b	1:3.51 b
90 天	0.9003 b	57.84 ab	10.16 b	47.68 ab	1:4.78 b
CK	1.1082 a	55.12 b	5.36 c	49.77 a	1:9.33 a

2.4 不同处理对番茄叶片叶绿素含量的影响

土壤添加堆肥处理对番茄叶片叶绿素含量的影响见表 3。与对照处理相比，90 天堆肥处理显著增加了番茄叶片中叶绿素 a 及叶绿素总量的含量，30 天堆肥处理也增加了叶绿素 a、叶绿素 b 及叶绿素总量的含量，但差异未达显著水平。两种堆肥处理间在 3 种指标上均未达到显著差异，表明土壤添加 2 种不同腐熟程度麦秸堆肥对番茄叶绿素含量影响不大。

2.5 不同处理对番茄叶片光合作用的影响

不同处理对番茄叶片光合作用的影响见表 4。座果期，30 天堆肥处理下番茄叶片净光合速率显著高于 90 天堆肥处理及对照，可能是由于 30 天堆肥处理下秸秆的持续降解释放的 CO₂ 增加了番茄根际 CO₂ 浓度及堆肥中活跃微生物的作用，并且该处理下的水分利用率显著高于 90 天堆肥处理及对照，其他指标 3 种处理间差异不显著。采收期，30 天堆肥处理下番茄叶

片仍然保持最高净光合速率并显著高于对照处理，但与 90 天堆肥处理差异不再显著，应该是由于随着栽培过程的进行，30 天堆肥处理下秸秆的降解作用逐渐减弱，在性质上已经接近于 90 天堆肥处理。该时期 30 天堆肥处理下气孔导度与胞间 CO₂ 浓度均显著高于 90 天堆肥处理与对照，蒸腾速率、水分利用率在 3 种处理间差异不显著。

表 3 不同处理对番茄叶片叶绿素含量的影响

Table 3 Effects of different treatments on chlorophyll content of tomato leaves

处理	叶绿素 a (mg/g)	叶绿素 b (mg/g)	叶绿素总量 (mg/g)
30 天	1.612 ab	0.565 a	2.177 ab
90 天	1.733 a	0.578 a	2.311 a
CK	1.260 b	0.430 a	1.690 b

表 4 堆肥处理对番茄植株光合作用的影响
Table 4 Effects of different treatments on tomato photosynthesis

生长期	处理	净光合速率 (CO ₂ , μmol/(m·s))	气孔导度 (H ₂ O, mol/(m·s))	胞间CO ₂ 浓度 (CO ₂ , μmol/mol)	蒸腾速率 (H ₂ O, mmol/(m·s))	水分利用率 (CO ₂ mmol/H ₂ Omol)
座果期	30 天	21.18 a	0.68 a	284.88 a	6.57 a	3.24 a
	90 天	18.77 b	0.57 a	290.28 a	7.21 a	2.62 b
	CK	18.65 b	0.64 a	296.76 a	7.42 a	2.54 b
采收期	30 天	21.21 a	0.93 a	326.25 a	6.83 a	3.11 a
	90 天	20.93 ab	0.65 b	307.55 b	7.04 a	3.00 a
	CK	18.92 b	0.64 b	309.60 b	6.59 a	2.96 a

注：水分利用率=净光合速率/蒸腾速率。

2.6 不同处理对番茄产量构成的影响

不同处理对番茄产量构成的影响见表 5。与对照处理相比，添加堆肥处理显著增加了番茄座果数、单果重及产量，并且两种处理间差异不显著。两种堆肥处理对番茄座果数与单果重的作用效果不同，座果数以 90 天堆肥处理稍高于 30 天堆肥处理，而 30 天堆肥处理下番茄单果重最高，应该是由于该处理下番茄光合作用得到显著改善，增加了光合产物的合成与积累。

表 5 不同处理对番茄产量构成的影响
Table 5 Effects of different treatments on tomato yields

处理	座果数 (个/区)	单果重 (g)	产量 (kg/区)
30 天	624 a	132.03 a	82.48 a
90 天	633 a	126.78 a	80.25 a
CK	588 b	116.60 b	68.66 b

3 讨论与结论

堆肥堆制过程中，高温期出现在堆制前期，该时期堆肥温度可上升至 55~65℃^[16-17]，大量病菌与虫卵均被杀死，之后温度便开始下降，高温期过后，堆肥化学性状基本趋于稳定^[18]，也被认为是安全的，而在温度趋于环境温度时便被认为是腐熟进程结束。本试验测得堆制 30 天与 90 天两种不同腐熟程度麦秸堆肥在 C/N 比及营养元素含量方面差异较小，而物理性状差异明显，体积质量及大小孔隙比均达到显著差异，一方面表明堆肥堆制过程中，物理性状与化学性状的变化并不具有同步性，高温期过后的腐熟进程仍对堆肥的物理性状产生较大影响，另一方面后期翻堆时的机械作用也可能对堆肥的物理性状产生一定影响。

将堆肥作为土壤改良剂使用时，其作用主要是引

发或增强土壤中活跃微生物的活动^[19]，因此完全腐熟程度不一定是堆肥的最佳腐熟程度。本试验将堆制 30 天的半腐熟与堆制 90 天的完全腐熟两种腐熟程度麦秸堆肥应用于日光温室番茄的栽培过程中，30 天堆肥处理对土壤物理性状的改良及番茄光合作用的改善效果均高于 90 天堆肥，并且较 90 天堆肥处理增加了番茄单果重与产量，表明秸秆堆肥在作为设施土壤改良剂施用后半腐熟状态优于完全腐熟状态。因此确定适宜的腐熟程度，不但可以减少堆制时间，降低堆制成本，而且有利于保持堆肥积极的活性，充分发挥其改土增产的作用。实际应用中确定堆肥的腐熟程度与堆制时间可从两方面考虑，一是堆肥温度在经过高温期后开始下降，二是堆肥固态 C/N 比低于 20，本试验条件下小麦秸秆作为设施土壤改良剂应用时适宜的堆制时间在 30 天左右。

参考文献:

- [1] 冯永军, 陈为峰, 张蕾娜, 吴安民. 设施园艺土壤的盐化与治理对策. 农业工程学报, 2001, 17(2): 111-114
- [2] 何文寿. 设施农业中存在的土壤障碍及其对策研究进展. 土壤, 2004, 36(3): 235-242
- [3] 喻景权, 杜尧舜. 蔬菜设施栽培可持续发展中的连作障碍问题. 沈阳农业大学学报, 2002, 31(1): 124-126
- [4] Yoram A, Dan S, Malka K, Yaron Y. Use of compost for the reclamation of saline and alkaline soils. Compost Science and Utilization, 1994, 2(3): 6-11
- [5] 郭卫华, 李天来. 有机质配施对日光温室 CO₂ 浓度及番茄生理的影响. 园艺学报, 2003, 30(5): 592-594
- [6] Stoffella PJ, Graetz DA. Utilization of sugarcane compost as a soil amendment in a tomato production system. Compost Science and Utilization, 2000, 8(3): 210-214
- [7] 王德汉, 彭俊杰, 戴苗. 造纸污泥堆肥作为土壤改良剂的肥效

- 研究. 中国造纸学报, 2003, 18(1): 141-144
- [8] Ye ZQ, Jiang PK, Xu QF. Use of composting manure to improve plant iron and zinc. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 2006, 37: 2577-2593
- [9] 曾峰海, 郑海金, 丁蕾. 城市生活垃圾堆肥对草坪土壤性质和草坪草生长的影响. *江西师范大学学报*, 2007, 31(1): 107-111
- [10] 武春成, 李天来, 马宁宁. 不同堆肥处理对温室土壤主要环境因子及番茄生长发育的影响. *中国蔬菜*, 2005(7): 4-7
- [11] 韩鲁佳, 闫巧娟, 刘向阳, 胡金有. 中国农作物秸秆资源及其利用现状. *农业工程学报*, 2002, 18(3): 87-91
- [12] 高祥照, 马文奇, 马常宝, 张福锁, 王运华. 中国作物秸秆资源利用现状分析. *华中农业大学学报*, 2002, 21(3): 242-247
- [13] 劳秀荣, 孙伟红, 王真, 郝艳如, 张昌爱. 秸秆还田与化肥配合施用对土壤肥力的影响. *土壤学报*, 2003, 40(4): 618-623
- [14] 曾木祥, 王蓉芳, 彭世琪, 张玉洁, 崔勇, 单秀枝, 廖超子, 田有国. 我国主要农区秸秆还田试验总结. *土壤通报*, 2002, 33(5): 336-339
- [15] 高新昊, 张志斌, 郭世荣. 玉米与小麦秸秆无土栽培基质的理化性状分析. *南京农业大学学报*, 2006, 29(4): 131-134
- [16] 黄国锋, 钟流举, 张振钿, 吴启堂. 有机固体废弃物堆肥的物质变化及腐熟度评价. *应用生态学报*, 2003, 14(5): 813-818
- [17] Eklind Y, Kirchmann H. Composting and storage of organic household waste with different litter amendments. II: nitrogen turnover and losses. *Bioresource Technology*, 2000, 74(2): 125-133
- [18] 朴哲, 崔宗均, 苏宝林. 高温堆肥的物质变化与腐熟进度关系. *中国农业大学学报*, 2001, 6(3): 74-78
- [19] Sela R, Goldrat T, Avnimelech Y. Determining optimal maturity of compost used for land application. *Compost Science and Utilization*, 1998, 6: 83-88

Wheat Straw Compost as Soil Amendment in Greenhouse Tomato Production System

GAO Xin-hao^{1,2}, LIU Zhao-hui¹, ZHANG Zhi-bin², JIANG Li-hua¹

(1 Soil and Fertilizer Institute, Shandong Academy of Agricultural Sciences, Jinan 250100, China;

2 Institute of Vegetables and Flowers, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract: Composting is one of the effective methods to utilize agricultural wastes, and agricultural waste compost as a soil amendment could improve soil properties and raise crop yields effectively. In this paper, the wheat straw compost at two different stages of maturity (30d and 90d) were incorporated into topsoil in a greenhouse tomato production system to observe the effect on soil physical properties and tomato yields. Compared with conventional cultivation (CK), the application of 30d and 90d compost treatments improved soil physical properties as the bulk density reduced to 0.8263 and 0.9003 g/cm³, and the ratio of aeration porosity to water-holding porosity increased to 1:3.51 and 1:4.78, respectively. The two compost treatments improved tomato photosynthesis, for Pn, under 30d compost treatment, 90d compost treatment and CK, exhibited 21.18, 18.77, 18.65 CO₂ μmol/(m·s) during fruit-setting period and 21.21, 20.93, 18.92 CO₂ μmol/(m·s) during harvesting period. Meanwhile the two compost treatments increased tomato yield significantly, the plot yield, under 30d compost treatment, 90d compost treatment and CK, were 82.48, 80.25 and 68.66 kg respectively. And 30d compost treatment showed superior efficiency in improving soil physical properties, raising net photosynthesis and yields compared with 90d compost. These results indicate that complete maturity isn't the optimal while wheat straw compost was used as soil amendment, and it is necessary to find the proper composting time and maturity extent based on the compost materials and composting period during compost utilizing.

Key words: Wheat straw, Compost, Maturity extent, Greenhouse, Tomato, Application effect