

醋糟和菇渣基质改良剂对连作障碍土壤理化性质及栽培黄瓜的影响

周冉冉¹ 陈佩¹ 郭世荣^{1*} 蔡忠²

(¹ 南京农业大学园艺学院, 江苏南京 210095; ² 江苏兴农基质科技有限公司, 江苏镇江 212016)

摘 要: 为解决醋糟和菇渣等有机废弃物处置问题, 并确定醋糟和菇渣基质对连作障碍土壤的影响, 将醋糟和菇渣以 1:3、1:1 和 3:1 (*V:V*) 的比例混合作为土壤基质改良剂, 并以不同的比例 (1:10、1:8 和 1:5, *V:V*) 与连作障碍土壤混合, 研究基质改良剂对连作障碍土壤理化性质、土壤酶活性和栽培黄瓜植株生长、果实产量、品质的影响。结果表明, 醋糟和菇渣基质改良剂降低了土壤容重, 增加了土壤有机碳含量、养分含量、pH、通气孔隙和土壤酶活性。与 CK 相比, 有机碳含量增加幅度为 26.6%~144.8%, 全氮、全磷和钙含量增加幅度分别为 12.94%~85.57%、14.89%~43.26% 和 13.48%~75.85%, 碱解氮和有效磷含量增加幅度为 6.84%~25.68% 和 16.26%~41.55%。同时, 醋糟和菇渣基质改良剂促进了黄瓜植株对水分、养分的吸收利用, 有利于植株生长, 提高了果实产量和品质, 有效地减轻了土壤连作障碍。与 CK 相比, 植株地上部干质量增加 2.45%~40.28%, 其中 A2 处理果实产量增加最高, 增加 19.81%。灰色关联分析结果表明, 与其他处理相比, 在连作障碍土壤中以 1:10 (*V:V*) 的比例添加醋糟和菇渣基质改良剂 (1:1, *V:V*) 可显著改善土壤理化性质, 促进黄瓜生长, 提高产量。

关键词: 基质改良剂; 连作障碍; 黄瓜; 醋糟; 菇渣

连作是世界范围内作物栽培普遍存在的现象, 但过度、不合理连作常常会导致土壤退化, 包括土壤酸化、硬化和养分富集, 从而导致土传病虫害的发生, 极大地抑制栽培植物的生长并减少作物产量 (王长义等, 2020)。在设施农业中, 由于长期缺乏雨水侵蚀和过量施肥造成的土壤连作障碍已成为限制植物生长的主要因素之一 (刘来等, 2013)。大量研究表明, 施用土壤改良剂是缓解土壤连续种植障碍的有效方法 (唐乐等, 2020; 王光飞等, 2020)。在连续种植的土壤中施用秸秆堆肥可以提高土壤持水能力、微生物总生物量并促进植物的生长, 提高果实产量 (Tian et al., 2016)。同样, 有研究表明, 短期秸秆堆肥的添加增强了长期连

作黄瓜的根际土壤碳矿化作用并促进了根的生长 (Zhang et al., 2014)。此外, 堆肥的添加还可以提高有益真菌的丰度并减少病原真菌的数量, 有利于温室连续种植条件下黄瓜产量和品质的提高 (Zhao et al., 2017)。这些结果表明, 土壤改良剂可通过改善土壤理化特性和土壤微生物的结构来减轻连作障碍。

醋生产过程中产生的副产品醋糟由于其酸度和腐蚀性会严重危害环境。但是, 醋糟中含有大量的营养物质和有机物, 具有良好的物理和化学特性 (余桂红等, 2020)。有研究表明, 醋糟可在厌氧发酵后用作为有机肥料和无土栽培基质 (王玉等, 2019)。此外, 醋糟堆肥与草炭混合不仅可以促进黄瓜的生长, 还能通过调节生理和生化反应增强植株对枯萎病原菌的防御能力 (Shi et al., 2016)。菇渣是蘑菇生产中的废弃基质, 富含大量营养, 也可作为无土栽培的基质和土壤改良剂 (张颖等, 2019)。有研究表明, 菇渣堆肥可增强重金属污染土壤的植物响应能力和植物修复作用 (Asemoloye

周冉冉, 男, 硕士研究生, 主要从事土壤改良及设施园艺研究, E-mail: 1605787985@qq.com

* 通信作者 (Corresponding author): 郭世荣, 男, 教授, 博士生导师, 主要从事设施园艺与蔬菜生理研究, E-mail: srguo@njau.edu.cn

收稿日期: 2020-07-09; 接受日期: 2020-10-29

基金项目: 江苏省科技支撑计划项目 (BE2017701), 国家现代农业产业技术体系建设专项 (CARS-23-B12)

et al., 2020)。然而，目前醋糟和菇渣对减轻连作障碍的影响尚不清楚。

黄瓜是设施栽培中广泛种植的蔬菜，已成为设施栽培主要蔬菜作物之一。但是，由于过分追求经济利益，在设施条件下黄瓜连续种植引发的土壤障碍问题逐渐凸显，严重影响了黄瓜的产量和品质。本试验将经过生物发酵后的醋糟和菇渣以不同比例混合后作为基质改良剂，研究其对连作障碍土壤理化性质和黄瓜生长的影响，以期醋糟、菇渣有机废弃物提供一种可供选择的处理方式，有利于农业的可持续性发展。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试黄瓜 (*Cucumis sativus* L.) 品种为津春 4 号，由天津科润农业科技股份有限公司黄瓜研究所

提供，发酵后的醋糟和菇渣基质材料由江苏兴农基
质科技有限公司提供，商品土壤改良剂由江平生物
基质技术股份有限公司提供。连作土壤取自南京农
业大学江浦农场大棚，连作黄瓜长达 8 a。供试土
壤的理化性质为：酸碱度 (pH) 5.58，电导率 (EC)
0.71 mS · cm⁻¹，容重 1.19 g · cm⁻³，总孔隙度
48.95%，总氮含量 2.01 g · kg⁻¹，总磷含量 1.41 g ·
kg⁻¹，总钾含量 14.27 g · kg⁻¹，碱解氮含量 126.14
mg · kg⁻¹，有效磷含量 105.62 mg · kg⁻¹，有效钾含
量 387.12 mg · kg⁻¹，有机碳含量 17.64 g · kg⁻¹。醋
糟、菇渣及其混合物和商品土壤改良剂的基本理化
性质如表 1 所示。

1.2 试验方法

试验于 2017 年 2—7 月在南京农业大学白马
基地进行。醋糟和菇渣基质分别以 1 : 3、1 : 1 和
3 : 1 的体积比混合作为不同的基质改良剂，将基

表 1 基质改良剂的理化性质

基质改良剂	pH	EC/mS · cm ⁻¹	容重/g · cm ⁻³	总孔隙度/%	通气孔隙/%	持水孔隙/%	大小孔隙比
醋糟	6.36 ± 0.013	1.96 ± 0.099	0.11 ± 0.005	84.52 ± 5.43	46.44 ± 3.27	38.08 ± 3.43	1.22 ± 0.12
菇渣	7.89 ± 0.002	4.82 ± 0.074	0.55 ± 0.009	65.31 ± 2.40	4.29 ± 0.85	61.02 ± 1.55	0.07 ± 0.01
商品土壤改良剂	8.40 ± 0.016	4.38 ± 0.127	0.26 ± 0.010	46.78 ± 2.71	10.96 ± 0.85	36.27 ± 2.37	0.27 ± 0.04
醋糟 : 菇渣 = 1 V : 3 V	7.85 ± 0.018	4.32 ± 0.025	0.41 ± 0.002	67.01 ± 2.59	13.67 ± 3.04	53.33 ± 3.48	0.26 ± 0.07
醋糟 : 菇渣 = 1 V : 1 V	7.82 ± 0.043	3.44 ± 0.117	0.29 ± 0.005	64.97 ± 1.19	27.34 ± 0.71	37.63 ± 1.17	0.73 ± 0.03
醋糟 : 菇渣 = 3 V : 1 V	7.91 ± 0.022	2.20 ± 0.119	0.20 ± 0.003	81.36 ± 0.90	55.03 ± 2.07	26.33 ± 2.54	2.11 ± 0.30

质改良剂及商品土壤改良剂与连作土壤以 1 : 10、
1 : 8 和 1 : 5 的体积比混合进行连作土壤改良处
理。以连作土壤作为对照 (CK)，共设置 12 个处
理 (表 2)。试验前将发芽的黄瓜种子播种在装有
育苗基质的 32 孔穴盘中，两叶一心时将幼苗移栽
到装有 8 L 不同处理土壤的 NAU-G1 培养桶中，放
置在南京农业大学的温室中生长，该温室温度保
持在 (28 ± 1) °C / (19 ± 1) °C (昼 / 夜)，相对湿
度为 65%~75%。每个处理 10 桶，每桶移栽 2 株，
每天用 1/2 浓度的 Hoagland 营养液浇灌幼苗。在黄
瓜种植前和收获后，除去栽培桶中的表土，随机收
集 0~15 cm 深度的土壤样品，混合成 3 个生物学
重复。将样品风干用于测定土壤理化性质和土壤酶
活性。黄瓜定植后 20 d (初花期) 测定植株的生
长指标和生理参数，收获期测定黄瓜的果实品质。

1.3 测定方法

1.3.1 土壤理化性质和土壤酶活性 根据李谦盛等

表 2 醋糟和菇渣基质改良剂的不同比例和组成

处理	基质改良剂 : 土壤 (V : V)	基质改良剂 (体积比)		
		醋糟	菇渣	商品土壤改良剂
CK	—	—	—	—
A0	1 : 10	0	0	100
A1	1 : 10	25	75	0
A2	1 : 10	50	50	0
A3	1 : 10	75	25	0
B0	1 : 8	0	0	100
B1	1 : 8	25	75	0
B2	1 : 8	50	50	0
B3	1 : 8	75	25	0
C0	1 : 5	0	0	100
C1	1 : 5	25	75	0
C2	1 : 5	50	50	0
C3	1 : 5	75	25	0

(2003) 的方法测定土壤容重和孔隙度。风干的土
壤和蒸馏水以 1 : 5 (m : V) 的比例混合，搅拌并
浸泡 2 h，然后过滤，滤液使用 pH 计和电导率计
测定 pH 和 EC 值。采用重铬酸钾外加热法测定土

壤有机碳含量(鲍士旦, 2000)。取风干的土壤 0.5 g 溶于 5 mL 浓 H_2SO_4 中, 滴加 H_2O_2 进行消煮, 用无磷定量滤纸过滤溶液, 并用去离子水稀释。稀释液通过电感耦合等离子体原子发射光谱法测定磷(P)、钾(K)、钙(Ca)、镁(Mg)、钠(Na)等元素的含量。采用凯氏定氮仪测定总氮(N)的含量。土壤蔗糖酶、脲酶和磷酸酶活性分别采用 3,5 二硝基水杨酸比色法、苯酚钠-次氯酸钠比色法和磷酸苯二钠比色法测定(孙正国, 2015)。

1.3.2 植株生长指标 定植 20 d 后, 测定植株的株高、茎粗和地上部干鲜质量。每个处理随机选择 4 株幼苗, 用直尺测量从子叶到生长点的高度为株高, 用游标卡尺在子叶以下 1 cm 处测量茎的直径为茎粗。使用电子天平称量植株地上部鲜质量, 然后将样品在 105 °C 下干燥 15 min, 将温度降至 75 °C 直至获得恒重, 称量植株地上部干质量。

1.3.3 产量和品质 每个处理随机挑选 10 株植株挂牌标记, 在黄瓜开花后 10 d 开始采摘, 称量果实质量, 拉秧后计算单株产量。收获期, 每个处理随机收集 6 根黄瓜进行品质测定; 可溶性糖含量采用蒽酮比色法测定, VC 含量采用 2,6-二氯酚靛酚滴定法测定, 可溶性蛋白含量采用考马斯亮蓝法测定。

1.3.4 数据分析 灰色关联分析可以确定系统中各个因素之间的主要关系, 并找出影响目标值的重要因素(Gau et al., 2006)。本试验确定了理想的参数指标, 并通过灰色关联分析法对 16 个参数指标进行综合分析, 得出了相关系数, 从而得出醋糟菇渣基质改良剂改良连作土壤的最佳比例。所有处理和测量均至少进行了 3 个生物学重复。采用 SPSS 统计软件对数据进行统计分析, 采用 Duncan 法进行多重比较($P < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 基质改良剂对土壤理化性质的影响

不同比例醋糟和菇渣基质改良剂的使用改变了土壤物理特性和养分含量。如表 3 所示, 与 CK 相比, 在连作土壤中施用改良剂显著降低了土壤的容重, 并且随着改良剂比例的增加, 降低效果更加显著。与 CK 相比, C3 处理的容重降低了 16.1%。当基质改良剂的添加比例为 1:10 和 1:8 时, 这些处理和 CK 之间的总孔隙度没有显著差异, 而处理比例为 1:5 时, 虽与 CK 也没有显著差异, 但略有提高。与 CK 相比, 所有处理的通气孔隙均增加, 尤其是 A3、B3 和 C3 处理增加显著。除 C3 处理外, 各处理持水孔隙与 CK 无显著差异。C3 处理的大

表 3 醋糟和菇渣基质改良剂对种植前土壤物理性质的影响

处理	容重/ $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	总孔隙度/%	通气孔隙/%	持水孔隙/%	大小孔隙比
CK	1.186 ± 0.006 a	48.95 ± 0.91 abc	1.58 ± 0.53 e	47.37 ± 0.53 a	0.03 ± 0.010 e
A0	1.109 ± 0.008 b	48.25 ± 0.30 abc	2.28 ± 0.30 de	45.96 ± 0.61 a	0.05 ± 0.007 de
A1	1.128 ± 0.025 b	49.30 ± 1.85 abc	2.11 ± 0.01 de	47.19 ± 1.85 a	0.04 ± 0.002 de
A2	1.128 ± 0.008 b	47.19 ± 0.80 c	2.63 ± 0.01 de	44.56 ± 0.80 a	0.06 ± 0.001 de
A3	1.126 ± 0.016 b	48.95 ± 1.82 abc	4.74 ± 1.05 bc	44.21 ± 2.10 a	0.11 ± 0.026 bc
B0	1.074 ± 0.009 c	48.60 ± 0.80 abc	2.81 ± 0.61 de	45.79 ± 0.53 a	0.06 ± 0.013 de
B1	1.084 ± 0.014 c	47.72 ± 3.08 bc	2.98 ± 0.61 de	44.74 ± 2.73 a	0.07 ± 0.012 de
B2	1.075 ± 0.012 c	48.07 ± 1.52 abc	3.16 ± 0.91 de	44.91 ± 1.32 a	0.07 ± 0.021 cde
B3	1.065 ± 0.011 c	49.47 ± 0.53 abc	5.26 ± 1.82 b	44.21 ± 1.39 a	0.12 ± 0.044 b
C0	1.044 ± 0.003 d	49.82 ± 0.80 abc	3.33 ± 0.80 cd	46.49 ± 1.22 a	0.07 ± 0.019 cde
C1	1.072 ± 0.013 c	49.47 ± 1.39 abc	3.51 ± 0.30 cd	45.96 ± 1.22 a	0.08 ± 0.006 cd
C2	1.021 ± 0.005 e	50.70 ± 1.52 a	5.96 ± 1.61 b	44.74 ± 2.41 a	0.13 ± 0.041 b
C3	0.995 ± 0.005 f	50.53 ± 1.90 ab	10.18 ± 0.30 a	40.35 ± 2.19 b	0.25 ± 0.022 a

注: 表中数据是 3 个生物学重复的平均值 (\pm SE), 同列数据后不同小写字母表示在 $P < 0.05$ 水平下处理之间具有显著差异, 下表同。

小孔隙比是 CK 的 8.3 倍。

施用基质改良剂后, 土壤的养分含量也显著增加, 尤其是有机碳、氮、磷和钙的含量。与 CK 相比, 添加基质改良剂后, 全

氮、全磷、碱解氮和有效磷含量分别增加了 12.94%~85.57%、14.89%~43.26%、6.84%~25.68% 和 16.26%~41.55% (表 4), 有机碳含量增加了 26.6%~144.8% (表 5), 钙含量也增加了

表 4 醋糟和菇渣基质改良剂对种植前土壤氮、磷、钾含量的影响

处理	全氮/g · kg ⁻¹	全磷/g · kg ⁻¹	全钾/g · kg ⁻¹	碱解氮/mg · kg ⁻¹	有效磷/mg · kg ⁻¹	有效钾/mg · kg ⁻¹
CK	2.01 ± 0.05 h	1.41 ± 0.04 h	14.27 ± 0.38 abc	126.14 ± 3.73 g	105.62 ± 1.43 h	387.12 ± 8.21 e
A0	2.39 ± 0.08 fg	1.77 ± 0.09 de	14.76 ± 0.34 a	134.77 ± 0.94 ef	135.47 ± 0.64 de	397.38 ± 2.65 bcd
A1	2.49 ± 0.13 ef	1.80 ± 0.05 cde	14.64 ± 0.21 ab	138.22 ± 1.19 de	136.63 ± 0.15 cde	398.96 ± 0.18 bcd
A2	2.37 ± 0.04 fg	1.64 ± 0.05 fg	13.81 ± 0.21 bc	136.28 ± 0.54 def	122.79 ± 1.32 g	393.54 ± 0.68 cde
A3	2.27 ± 0.01 g	1.78 ± 0.03 cde	14.85 ± 0.43 a	135.25 ± 1.24 ef	131.56 ± 0.73 f	394.69 ± 1.56 bcde
B0	2.96 ± 0.16 b	1.90 ± 0.11 abc	14.23 ± 0.82 abc	152.46 ± 1.32 b	140.32 ± 1.19 b	401.75 ± 0.85 bc
B1	2.74 ± 0.05 c	1.88 ± 0.08 bcd	13.70 ± 0.32 c	149.24 ± 0.61 bc	139.48 ± 0.55 bc	396.03 ± 2.12 bcd
B2	2.34 ± 0.10 g	1.74 ± 0.03 ef	13.82 ± 0.44 bc	132.48 ± 0.61 f	138.36 ± 1.89 bcd	390.40 ± 0.65 de
B3	2.38 ± 0.05 fg	1.62 ± 0.11 g	14.04 ± 0.68 abc	140.12 ± 0.43 d	134.94 ± 1.13 e	398.14 ± 0.86 bcd
C0	3.73 ± 0.01 a	2.00 ± 0.06 a	13.53 ± 0.25 c	158.53 ± 1.25 a	149.50 ± 0.41 a	415.13 ± 2.47 a
C1	2.71 ± 0.10 cd	2.02 ± 0.03 a	13.72 ± 0.47 c	146.56 ± 0.90 c	146.84 ± 0.62 a	402.83 ± 1.53 b
C2	2.60 ± 0.05 de	1.98 ± 0.02 ab	14.63 ± 0.08 ab	140.36 ± 0.48 d	146.59 ± 1.44 a	398.80 ± 0.61 bcd
C3	2.49 ± 0.10 ef	1.79 ± 0.06 cde	13.56 ± 0.07 c	147.77 ± 0.72 c	140.69 ± 0.80 b	398.06 ± 0.99 bcd

表 5 醋糟和菇渣基质改良剂对种植前土壤有机碳及钙、镁、钠含量的影响

处理	有机碳/g · kg ⁻¹	钙/g · kg ⁻¹	镁/g · kg ⁻¹	钠/g · kg ⁻¹
CK	17.64 ± 0.13 g	4.97 ± 0.18 i	4.15 ± 0.27 ab	0.71 ± 0.044 a
A0	25.50 ± 0.50 cde	6.58 ± 0.10 de	4.79 ± 0.09 a	0.73 ± 0.023 a
A1	23.57 ± 0.13 cdef	6.48 ± 0.17 def	4.69 ± 0.73 a	0.63 ± 0.008 abc
A2	22.34 ± 0.45 ef	5.83 ± 0.12 gh	4.12 ± 0.26 ab	0.68 ± 0.042 ab
A3	23.63 ± 0.84 cdef	6.87 ± 0.13 cd	3.47 ± 0.51 b	0.61 ± 0.053 bc
B0	32.88 ± 2.92 b	7.60 ± 0.36 b	3.94 ± 0.86 ab	0.57 ± 0.065 c
B1	25.24 ± 0.01 cdef	6.77 ± 0.16 de	4.07 ± 0.57 ab	0.64 ± 0.035 abc
B2	22.28 ± 0.13 f	6.09 ± 0.09 fg	3.86 ± 0.34 ab	0.67 ± 0.026 ab
B3	22.54 ± 0.52 ef	5.64 ± 0.38 h	3.90 ± 0.35 ab	0.69 ± 0.039 ab
C0	43.18 ± 0.92 a	8.74 ± 0.22 a	4.32 ± 0.59 ab	0.70 ± 0.045 ab
C1	26.27 ± 0.26 c	7.73 ± 0.19 b	4.21 ± 0.27 ab	0.65 ± 0.068 abc
C2	25.88 ± 0.64 cd	7.17 ± 0.24 c	4.22 ± 0.46 ab	0.67 ± 0.061 abc
C3	23.05 ± 0.18 def	6.43 ± 0.25 ef	3.89 ± 0.22 ab	0.65 ± 0.120 abc

13.48%~75.85%。但是，基质改良剂对全钾、镁和钠的含量几乎没有显著影响。商品土壤改良剂与连作土以 1：5（V：V）添加的 C0 处理的养分含量增

量最大。
由图 1 可知，除 B2 和 B3 处理外，收获后其他处理的 pH 值均比种植前低，但仍显著高于

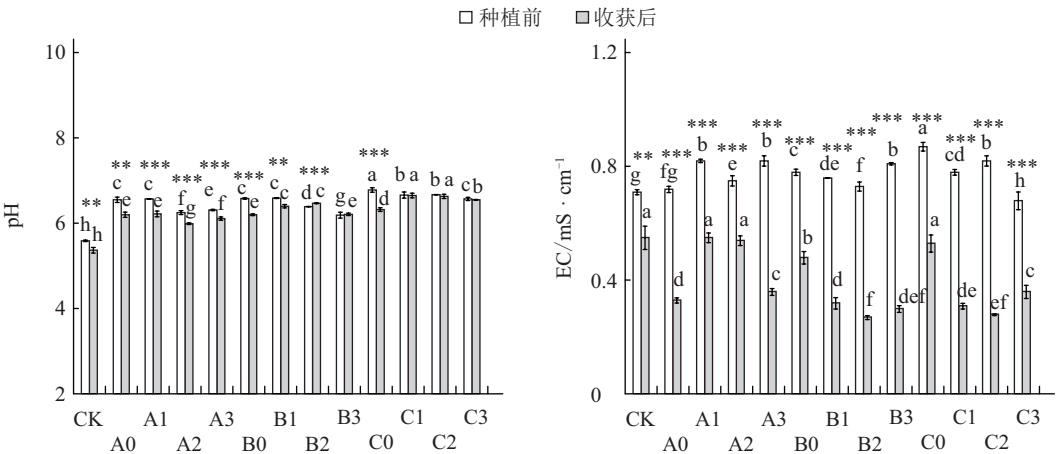


图 1 醋糟和菇渣基质改良剂对种植前和收获后土壤 pH 和 EC 值的影响

图柱上不同小写字母表示在 $P < 0.05$ 水平下处理之间具有显著差异，下同图。*表示种植前和收获后在 $P < 0.01$ 水平具有显著差异；***表示种植前和收获后在 $P < 0.001$ 水平具有显著差异。

CK。除了 B3、C1、C2 和 C3 处理,收获后与种植前的 pH 值均具有显著性差异。随着基质改良剂比例的增加,种植前 pH 值有增加的趋势。收获后,C1、C2 和 C3 处理仍具有较高的 pH 值。同样,添加基质改良剂后,除了 A0 和 C3 处理,其他处理种植前的 EC 值均显著高于 CK。与种植前相比,收获后各处理的 EC 值均显著降低,并且收获后各处理的 EC 值均低于 CK。

2.2 基质改良剂对土壤酶活性的影响

如图 2 所示,醋糟和菇渣基质改良剂的应用影响了土壤酶的活性。除 B2 和 B3 处理外,基质改良剂处理的土壤蔗糖酶活性比 CK 显著增加,其中基质改良剂与连作土壤以 1:5 (V:V) 的比例混合时,增加幅度最大。同样,除了 B2 处理,基质改良剂处理的土壤脲酶活性显著高于 CK。然而,部分基质改良剂添加处理,如 A1、A2、B1、B2、

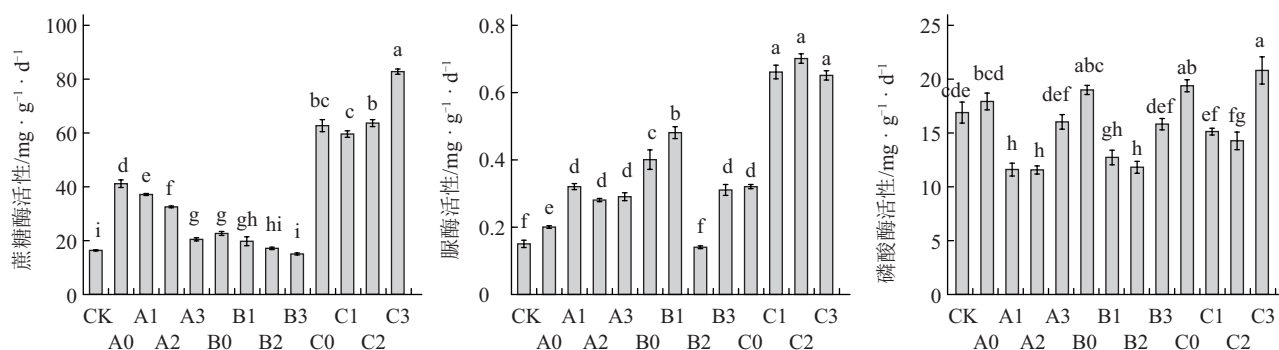


图 2 醋糟和菇渣基质改良剂对土壤蔗糖酶、脲酶和磷酸酶活性的影响

C2 处理土壤磷酸酶的活性显著降低,但是 C3 处理和添加商品土壤改良剂的 C0 处理的土壤磷酸酶活性比 CK 显著增加。

2.3 基质改良剂对黄瓜生长、产量和品质的影响

如表 6 所示, B3、C1、C2 和 C3 处理的株高分别比 CK 增加 13.35%、20.47%、17.80% 和 11.57%, 且与 CK 差异显著。同时,茎粗、地上部干鲜质量在添加基质改良剂后有所增加,茎粗增加 8.00%~27.00%,地上部鲜质

量增加 6.60%~40.08%,地上部干质量增加 2.45%~40.28%。整体来看,当基质改良剂与连作土壤比例为 1:5 (V:V) 时的 C 处理组更高。如表 7 所示, A2 处理的单株产量最高,比 CK 增加 19.81%; A 处理组的产量高于其他处理。在 CK 和所有处理之间未观察到可溶性糖含量有显著差异。然而,添加基质改良剂的处理显著增加了可溶性蛋白含量 (A1 处理除外) 和 VC 含量 (A0 处理除外)。

表 6 醋糟和菇渣基质改良剂对黄瓜生长的影响

处理	株高/cm	茎粗/mm	地上部鲜质量/g·株 ⁻¹	地上部干质量/g·株 ⁻¹
CK	84.25 e	6.00 e	75.65 c	5.71 c
A0	84.50 e	7.23 ab	82.61 bc	6.49 abc
A1	82.50 e	6.48 de	91.63 abc	7.38 abc
A2	88.75 cde	6.55 bcd	80.75 bc	6.13 bc
A3	91.00 bcde	6.65 bcd	87.52 abc	6.88 abc
B0	87.00 cde	7.62 a	101.13 ab	7.33 abc
B1	86.00 de	6.62 bcd	96.56 abc	6.51 abc
B2	87.00 cde	6.67 bcd	86.97 abc	6.37 abc
B3	95.50 abc	6.65 bcd	80.64 bc	5.85 c
C0	91.50 bcde	7.13 abc	81.31 bc	7.71 ab
C1	101.50 a	7.52 a	105.58 a	8.01 a
C2	99.25 ab	7.04 abc	100.99 ab	7.83 a
C3	94.00 abcd	7.08 abc	105.97 a	7.26 abc

表 7 醋糟和菇渣基质改良剂对黄瓜产量和品质的影响

处理	产量/g·株 ⁻¹	可溶性糖/%	可溶性蛋白/mg·g ⁻¹	VC/mg·kg ⁻¹
CK	680.4 e	10.24 abc	8.61 d	3.09 f
A0	730.0 bc	8.83 c	13.25 a	3.45 f
A1	751.8 b	11.27 ab	9.38 d	9.06 a
A2	815.2 a	10.68 abc	11.70 bc	8.78 a
A3	717.7 cd	9.53 bc	12.34 ab	8.06 ab
B0	733.3 bc	11.29 ab	11.44 bc	5.38 de
B1	721.4 bcd	9.90 abc	11.01 c	5.94 cde
B2	693.4 de	11.57 ab	11.19 bc	6.21 cd
B3	703.3 cde	11.23 ab	12.44 ab	5.63 de
C0	672.6 ef	10.44 abc	12.49 ab	6.61 bd
C1	646.2 fg	10.13 abc	12.49 ab	7.11 bc
C2	608.6 h	11.20 ab	12.20 abc	4.71 e
C3	634.8 gh	11.73 a	13.18 a	6.05 cd

2.4 灰色关联分析

不同比例基质添加处理对土壤改良的影响不同, 可以通过不同处理与理想参数之间的相关系数来表示。采用灰色关联法综合分析不同处理对

连作土壤的改良作用。不同处理的相关系数顺序为 $A2 > B1 > A1 > B2 > A0 > A3 > B0 > B3 > C1 > C0 > C3 > C2 > CK$ (表 8)。其中 A2 处理的相关系数最高, 而 CK 的相关系数最低, 表明在

表 8 不同醋糟和菇渣基质改良处理的相关系数

处理	CK	A0	A1	A2	A3	B0	B1	B2	B3	C0	C1	C2	C3
灰色关联值	0.708	0.741	0.755	0.787	0.740	0.737	0.761	0.743	0.732	0.713	0.730	0.709	0.713

连作障碍土壤中以 1:10(V:V)的比例添加醋糟、菇渣基质改良剂 (1:1, V:V) 改良土壤为最佳比例。

3 讨论与结论

本试验通过确定不同比例的醋糟和菇渣基质对土壤理化性质和植物生长的影响, 评估了基质改良剂对连作土壤的作用。土壤容重和孔隙度是土壤的两个重要物理特性, 与土壤肥力的协调、作物根系的延伸以及土壤的物理特性 (例如透水性和保水性) 密切相关 (王瑞 等, 2020)。本试验结果表明, 使用醋糟和菇渣基质改良剂可显著改变土壤物理性质, 包括降低土壤容重, 增加通气孔隙和大小孔隙比, 这与之前的研究结果一致 (王明亮 等, 2020)。有研究表明连续种植会导致土壤有机质含量下降 (张立恒 等, 2015)。由于基质改良剂中含有大量的有机物, 因此改良后土壤的有机碳含量显著高于对照。林颖等 (2018) 研究土壤中添加生物炭观察到相似的结果。同时, 本试验发现施用基质改良剂增加了土壤氮、磷和钙的含量, 而对全钾、镁和钠的含量没有显著影响。一些研究也表明, 秸秆还田等改良措施可以增加土壤中总氮的含量 (安嫫嫫 等, 2020)。使用基质改良剂可能会改变土壤的化学组成, 进一步促进植物生长并减少枯萎病等病害的发生 (杜南山, 2017)。

研究表明连续种植黄瓜超过 15 年, 碱性土壤逐渐变为酸性土壤 (Zhang et al., 2014), 本试验中对照土壤的 pH 值为 5.58, 表明连作导致土壤酸化。施用基质改良剂可显著提高 pH 值。同时, 土壤的 EC 值在收获后较种植前显著降低, 这可能是由于基质改良剂的应用, 促进了植物的生长并吸收了更多的营养元素, 也可能是由于基质改良剂增加了土壤含水量, 抑制了土壤营养元素在地表的聚集。在

种植前添加基质改良剂的处理 EC 值高于 CK (C3 处理除外), 但收获后的土壤 EC 值比 CK 低, 表明添加基质改良剂的处理 EC 值的减少量大于对照。这可能是由于种植前有机物料的添加增加了土壤养分含量, 种植过程中添加基质改良剂的处理能够更好地促进植株对养分的吸收, 进而表明基质改良剂可以改善土壤盐碱化以促进植株生长。

土壤酶是土壤中最活跃的有机成分之一, 直接参与土壤中各种物质的代谢和转化以及养分的释放和固定 (许云翔 等, 2019)。土壤酶的活性是评估土壤肥力和土壤质量的重要指标。在本试验中, 醋糟和菇渣基质改良剂的应用增加了土壤蔗糖酶和脲酶的活性, 部分处理增加了磷酸酶的活性。土壤酶活性的增加可以加速土壤养分的转化和利用, 减少土壤中毒素的积累, 改善土壤环境。

本试验中醋糟和菇渣基质改良剂的使用增加了黄瓜植株茎粗、地上部干鲜质量。随着添加量的增加, 其效果更加明显。黄瓜的产量和果实品质是评估土壤改良剂应用效果的最重要指标。施用土壤改良剂可提高黄瓜果实中可溶性蛋白含量和 VC 含量。同样, 吴平江等 (2019) 的研究表明生物有机肥的添加提升了黄瓜的品质和产量。

长期连续种植会改变土壤团聚体结构并导致土壤压实, 从而抑制植物的生长。在本试验中, 醋糟菇渣基质改良剂的施用改善了土壤理化性质, 从而促进了植物的生长并提高了果实的产量和品质, 这与之前的研究结果一致 (吴芯夷 等, 2015)。最后, 尽管 A2 处理的土壤理化特性不是最佳的, 但它具有最高的黄瓜产量。根据灰色关联分析, 与其他处理相比, A2 处理具有最高的相关系数, 表明 A2 处理是醋糟和菇渣基质改良剂改善土壤理化性质、促进黄瓜生长和提高产量的最佳方法。

综上, 在连续种植的土壤中施用醋糟和菇渣基

质改良剂可降低土壤容重, 增加土壤有机碳含量、pH、通气孔隙和土壤酶活性, 改善障碍土壤理化性状, 从而促进黄瓜植株对水和养分的吸收利用, 有利于植株的生长。灰色关联分析表明, 与其他处理相比, 在连作障碍土壤中以 1:10 ($V:V$) 的比例添加醋糟和菇渣基质改良剂 (1:1, $V:V$) 可显著改善土壤理化特性, 促进黄瓜生长, 提高产量。

参考文献

- 安嫒嫒, 马琨, 王明国, 马占旗. 2020. 玉米秸秆还田对土壤团聚体组成及其碳氮分布的影响. 西北农业学报, 29 (5): 766-775.
- 鲍士旦. 2000. 土壤农化分析. 3 版. 北京: 中国农业出版社.
- 杜南山. 2017. 醋糟基质根际促生菌的分离及其介导黄瓜根系对枯萎病的防御响应 (博士论文). 南京: 南京农业大学.
- 李谦盛, 裴晓宝, 郭世荣, 李式军. 2003. 复配芦苇末基质物理性状的影响. 南京农业大学学报, 26 (3): 23-26.
- 林颖, 索慧慧, 王坤, 郑翔宇, 曲东. 2018. 生物炭添加对旱作农田土壤溶解性有机质及其动态影响的定位研究. 水土保持学报, 32 (6): 149-155.
- 刘来, 孙锦, 郭世荣, 黄保健, 郭红伟, 李恋卿. 2013. 大棚辣椒连作土壤养分和离子变化与酸化的关系. 中国农学通报, 29 (16): 100-105.
- 孙正国. 2015. 连作西瓜的根际土壤酶活性和微生物多样性. 水土保持研究, 22 (5): 46-51, 57.
- 唐乐, 曹国璠, 李金玲, 龙欧, 黄天忠, 周芳. 2020. 土壤改良剂对连作白术质量、病害及土壤酶活性的影响. 河南农业科学, 49 (3): 54-62.
- 王长义, 郝振萍, 陈丹艳, 张爱慧, 朱士农. 2020. 设施土壤连作障碍产生原因及防治方法综述. 江苏农业科学, 48 (8): 1-6.
- 王光飞, 高晓东, 马艳, 郭德杰, 王秋君, 梁永红, 仇美华. 2020. 生物有机类复合调理剂在设施叶菜障碍土壤上的应用效果. 中国土壤与肥料, (2): 56-65.
- 王明亮, 刘惠芬, 王丽丽, 杨殿林, 王永慧, 汪洋. 2020. 不同覆盖作物模式对茶园土壤剖面物理性质的影响. 天津师范大学学报 (自然科学版), 40 (2): 56-62.
- 王瑞, 武威, 刘涛, 孙成明. 2020. 耕地土壤容重作用及其调控途径研究进展. 北方园艺, (4): 135-141.
- 王玉, 易丹丹, 王健, 束胜, 孙锦, 郭世荣. 2019. 沼渣混配基质对黄瓜和番茄生长、产量及品质的影响. 长江蔬菜, (10): 47-53.
- 吴平江, 夏叶, 薛勇, 陈修斌, 尹鑫. 2019. 生物有机肥对绿洲温室黄瓜产量、品质及土壤酶活性的影响. 中国水土保持, (4): 53-56.
- 吴芯夷, 束胜, 朱梦爽, 张悦, 宋夏夏, 郭世荣. 2015. 醋糟复合基质对小型西瓜幼苗生长及生理代谢的影响. 长江蔬菜, (16): 52-57.
- 许云翔, 何莉莉, 刘玉学, 吕豪豪, 汪玉瑛, 陈金媛, 杨生茂. 2019. 施用生物炭 6 年后对稻田土壤酶活性及肥力的影响. 应用生态学报, 30 (4): 1110-1118.
- 余桂红, 朱孔志, 张鹏, 卢俊, 马鸿翔. 2020. 醋渣覆盖对盐渍化麦田土壤及小麦产量相关性状的影响. 麦类作物学报, 40 (5): 1-5.
- 张立恒, 李坤, 胡熙禧, 马海峰, 赵娜, 李晓胤. 2015. 施入有机物料对葡萄连作土壤有机质含量及酶活性的影响. 北方园艺, (3): 160-162.
- 张颖, 牟森, 张金梅, 白雪, 王虹. 2019. 不同配比菇渣基质对黄瓜产量和品质的影响. 北方园艺, (11): 1-5.
- Asemoloye M D, Chkwuka K S, Jonathan S G. 2020. Spent mushroom compost enhances plant response and phytoremediation of heavy metal polluted soil. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 183 (4): 492-499.
- Gau H S, Hsieh C Y, Liu C W. 2006. Application of grey correlation method to evaluate potential groundwater recharge sites. Stochastic Environmental Research & Risk Assessment, 20 (6): 407-421.
- Shi L, Du N S, Yuan Y H, Shu S, Sun J, Guo S R. 2016. Vinegar residue compost as a growth substrate enhances cucumber resistance against the Fusarium wilt pathogen *Fusarium oxysporum* by regulating physiological and biochemical responses. Environmental Science and Pollution Research, 23 (18): 18277-18287.
- Tian Y Q, Wang Q, Zhang W H, Gao L H. 2016. Reducing environmental risk of excessively fertilized soils and improving cucumber growth by Caragana microphylla-straw compost application in long-term continuous cropping systems. Science of the Total Environment, 544: 251-261.
- Zhang X Y, Cao Y, Tian Y Q, Li J S. 2014. Short-term compost application increases rhizosphere soil carbon mineralization and stimulates root growth in long-term continuously cropped cucumber. Scientia Horticulturae, 175: 269-277.
- Zhao H T, Li T P, Zhang Y, Hu J, Bai Y C, Shan Y H, Ke F. 2017. Effects of vermicompost amendment as a basal fertilizer on soil properties and cucumber yield and quality under continuous cropping conditions in a greenhouse. Journal of Soils and Sediments, 17 (12): 2718-2730.

Effects of Vinegar and Mushroom Substrate Amendments on Physico-chemical Properties of Continuous Cropping Obstacle Soil and Cultivated Cucumber

ZHOU Ranran¹, CHEN Pei¹, GUO Shirong^{1*}, CAI Zhong²

(¹College of Horticulture, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, Jiangsu, China; ²Jiangsu Xingnong Substrate Technology Co., Ltd., Zhenjiang 212016, Jiangsu, China)

Abstract: In order to solve the disposal of organic waste including vinegar and mushroom residues, and determine the effects of vinegar and mushroom substrate on continuous cropping obstacle soil, this study mixed vinegar and mushroom residues at the ratio of 1 : 3, 1 : 1 and 3 : 1 ($V : V$) as soil substrate amendments, and added the continuous cropping obstacle soil with ratios of 1 : 10, 1 : 8 and 1 : 5 ($V : V$) to investigate their roles on soil physico-chemical properties, soil enzyme activity, plant growth, fruit yield and quality of cultivated cucumber. The results showed that application of vinegar-mushroom residue substrate amendment had decreased the soil bulk density, increased the contents of organic carbon and nutrient, pH value, soil aeration porosity and soil enzyme activity. Comparing with CK, the organic carbon content increased by 26.6%–144.8%. Contents of total nitrogen, total phosphorus and calcium increased by 12.94%–85.57%, 14.89%–43.26% and 13.48%–75.85%, respectively. The increasing amplitudes of alkaline nitrogen and available phosphorus contents were 6.84%–25.68% and 16.26%–41.55%. Meanwhile, vinegar-mushroom residue substrate amendment had promoted the absorption and utilization of water and nutrients by cucumber plants, which is beneficial for plant growth and fruit yield and quality improvement, and also for effectively relieving the soil damage by continuous cropping. Comparing with CK, the plant dry weight above the ground had increased by 2.45%–40.28%, of which A2 treatment had the highest fruit yield increase by 19.81%. The results of grey correlation analysis indicated that comparing with the other treatments, adding vinegar and mushroom residues substrate amendment (1 : 1, $V : V$) with the continuous cropping soil at the ratio of 1 : 10 ($V : V$) could significantly improve soil physico-chemical properties, promote cucumber growth and increase yield.

Keywords: substrate amendment; continuous cropping obstacle; cucumber; vinegar residue; mushroom residue

· 中国地理标志产品 ·

杭州萧山萝卜干

萧山萝卜干起源于 1890 年的河庄。勤劳的沙地人在络麻收割后马上种植萝卜，结果大量的鲜萝卜吃不完。有人试着腌制后，放在芦帘上任由日晒风吹，等萝卜干了以后再塞进小口坛子里，压紧用泥密封。一年后打开来吃，发现它色泽黄亮，香味浓郁，咸中带甜，味道比鲜萝卜更好了。就这样，一传十，十传百，风干萝卜在萧山东片沙地里传开了，技术也日渐成熟，成了闻名远近的“萧山萝卜干”。20 世纪 20 年代初起，萧山萝卜干先后销往杭州、上海、江西、港澳、新加坡等地。2004 年 10 月 25 日，原国家质检总局批准对“萧山萝卜干”实施原产地域产品保护。

萧山萝卜干是一道美味可口的腌渍小菜，属于浙菜系。其原料为产于杭州萧山市坎山、赭山、义蓬、瓜沥、城北等乡镇的“一刀种”萝卜。该地域生产的萝卜味甜，脆嫩、汁多，有“熟食甘似芋，生荐脆如梨”的美名。“一刀种”萝卜为长圆柱形，直径 4~5 cm，质量约 150 g，外皮较厚，色白，含水量少。因其长度与菜刀相近，加工时一刀可分两半而得名。将“一刀种”萝卜切成条，每条带有边皮，然后摊晒，每日翻动多次，晚间苫盖以防雾浸雨淋。晒 2~3 天，手感柔软即可腌制。将萝卜条置容器中，放盐拌匀，用力揉搓，至盐拌为止。分批进缸，逐层踏实，两日后出缸，匀薄摊晒，勤加翻动。3~4 天后再加适量盐分拌匀，分层装坛，逐层压实，加盖面盐，黄泥封口。经 30 多天即可食用。成品无须根、斑点、青头、坏条，经年不坏，香味不散。像绍兴黄酒一样，且放得越久越好吃。

萝卜干的 VB、铁质含量很高，是高级养生食物，有“小人参”之美名。萧山萝卜干含有糖、蛋白质、胡萝卜素、抗坏血酸等营养成分，以及钙、磷等人体不可缺少的矿物质，有降血脂、降血压、消炎、开胃、清热生津、防暑、消油腻、破气、化痰、止咳等功效。科学家还发现它含胆碱物质，有利于减肥；此外，它含有的糖化酶能分解食物中的淀粉等成分，促进人体对营养物质的消化吸收，又能把致癌的亚硝胺分解掉。

张德纯（中国农业科学院蔬菜花卉研究所，北京 100081）