

番茄栽培基质中菊芋发酵秸秆的适宜配比研究

季延海^{1,3}, 赵孟良², 武占会^{1,3}, 梁 浩^{1,3}, 刘明池^{1,2,*}

(¹北京市农林科学院蔬菜研究中心, 北京 100097; ²青海大学农林科学院, 西宁 810016; ³农业部华北都市农业重点实验室, 北京 100097)

摘 要: 为研究菊芋发酵秸秆作为无土栽培基质的可行性, 并筛选适宜的复配基质配比, 开展了番茄基质栽培中适宜配比的研究。选取草炭与蛭石体积比 2:1 的基质为对照, 设置发酵后菊芋秸秆的添加比例为 10%、20%、30%、40%、50%等复合基质处理, 测定复配基质的理化性状, 研究其对番茄生长、品质、产量、抗病性等的影响。结果表明, 复合基质容重、总孔隙度、持水孔隙随菊芋发酵秸秆添加量的增多而降低, 持水能力、通气孔隙、大小孔隙比随着菊芋发酵秸秆添加量的增多而增大; 菊芋发酵秸秆添加量 30%处理的番茄株高比对照增加 8.22%; 随着菊芋发酵秸秆添加量的增大番茄叶片 P_n 呈先上升后下降的趋势, 菊芋发酵秸秆添加量 10%、20%、30%和 40%处理比对照处理高 21.53%、17.72%、14.77%和 14.20%。对照处理番茄病情指数 (70.00) 高于其他处理 (35.72 ~ 51.98)。番茄果实可溶性固形物、维生素 C、可溶性糖含量和糖酸比均随菊芋发酵秸秆添加量的增大而呈现先上升后下降的趋势, 菊芋发酵秸秆添加量 20%~30%处理维生素 C、可溶性糖含量和糖酸比显著高于对照; 可滴定酸以对照最高, 糖酸比以 30%处理最高, 显著高于对照处理 110.39%。各处理单株总产量, 菊芋发酵秸秆添加量 20%和 10%的处理, 分别显著高于对照 14.50%和 12.50%。试验表明, 适宜番茄基质栽培菊芋发酵秸秆的添加量为 20%~30%。

关键词: 菊芋; 秸秆; 复配基质; 番茄; 基质栽培

中图分类号: S 626

文献标志码: A

文章编号: 0513-353X (2017) 08-1599-10

Research on Proper Proportions of Fermented *Helianthus tuberosus* Straw of Tomatoes in Substrate Culture

Ji Yanhai^{1,3}, Zhao Mengliang², Wu Zhanhui^{1,3}, Liang Hao^{1,3}, and Liu Mingchi^{1,2,*}

(¹Vegetable Research Center, Beijing Academy of Agricultural and Forestry Sciences, Beijing 100097, China; ²Academy of Agricultural and Forestry Sciences, Qinghai University, Xining 810016, China; ³Key Laboratory of North China Urban Agriculture, Ministry of Agriculture, Beijing 100097, China)

Abstract: In order to study the feasibility of utilizations of fermented *Helianthus tuberosus* straw (FHTS) as substrates, and to find a proper proportions of mixed substrate for soilless cultivation, the growing adaptability of tomato in mixed substrates with FHTS was researched. In the control group (CK), peat : vermiculite = 2 : 1; five treatments were set with the proportions of FHTS being 10%, 20%, 30%, 40% and 50%. Physicochemical properties of the compound substrates were tested and effects for growth,

收稿日期: 2017-05-15; **修回日期:** 2017-08-03

基金项目: 青海大学昆仑学者科技专项; 北京市农林科学院青年科研基金项目(QNJ201735); 北京市科技计划项目(D151100004515001); 国家现代农业产业技术体系建设专项资金项目 (CARS-25-G-01)

* 通信作者 Author for correspondence (E-mail: liumingchi@nervc.org)

quality, yield and disease resistance were carried out. The results showed that a higher proportion of FHTS resulted in lower bulk density (BD), total porosity (TP), and water retaining porosity (WTP). However, water-holding capacity (WHC), aeration porosity (AP), void ratio (VR) were raised with the increasing proportion of FHTS. Plant height of 30% treatment was increased 8.22% than that of CK. P_n were first increased and then decreased with the increasing proportion of FHTS, and treatments of 10%, 20%, 30%, and 40% were 21.53%, 17.72%, 14.77% and 14.20% higher than that of CK, significantly. Disease index (DI) of CK (70.00) was higher than that of other treatments (35.72 - 51.98). The content of soluble solids, vitamin C, soluble sugar, sugar acid ratio were first increased and then decreased with the increasing proportion of FHTS. And the amount of FHTS added was 20% - 30%, the content of vitamin C, soluble sugar and sugar acid ratio were significantly higher than that of CK. Titratable acid of CK was higher than that of other treatments, and sugar acid ratio of 30% treatment was the highest and 110.39% higher than that of CK, significantly. Yield per plant of 20% and 10% treatments were 14.50% and 12.50% higher than that of CK. The observed consequences indicated that 20% - 30% volume proportions of FHTS were suitable for tomato cultivation.

Keywords: *Helianthus tuberosus*; straw; mixed substrates; tomato; culture substrate

基质栽培是无土栽培中的主要形式,而基质是栽培成功与否的基础和关键(蒋卫杰,1988;刘士哲,2001),目前广泛采用的基质是草炭和岩棉(秦玲等,2005)。但岩棉使用后难以处理,会对环境造成严重污染,天然草炭资源有限,短期内不可再生,因此迫切需要开发替代品。

农作物秸秆等农林废弃物的基质化,可解决农林废弃物造成的环境和社会问题(李谦盛等,2002;曾清华等,2011;Torkashvand et al., 2015)。目前农作物秸秆作为蔬菜、花卉、食用菌等的栽培基质已有较多研究。如利用菇渣(Zhang et al., 2012)、芦苇末(李萍萍等,2012)、酒糟(Ge et al., 2012)、棉花秸秆(吴慧等,2012)等开发出了番茄、黄瓜、辣椒等作物的育苗基质配方;以小麦秸秆(Ghehsareh et al., 2012)、菌渣(张黎杰等,2014)为主得到黄瓜栽培基质配方;番茄基质已有玉米芯、麦糠和菇渣(Liu et al., 2014)以及羊粪、麦秆、棉花秆、河沙(王博等,2015)等一系列的优化配方,有效解决了农林废弃物的再利用问题,并减少了草炭、岩棉等的开发利用。张黎杰等(2014)的研究表明菌渣、鸡粪混合发酵料与蛭石、珍珠岩处理,黄瓜产量较土壤栽培、常规草炭 + 蛭石 + 珍珠岩基质栽培提高 21.0%和 29.9%,可溶性糖含量分别提高 47.8%和 41.2%。

菊芋(*Helianthus tuberosus* L.)为菊科向日葵属多年生草本植物,耐旱,耐瘠薄,耐病,耐低温,适应性很强,对土壤要求不严格,近年来被广泛种植。目前对菊芋的研究开发主要集中在荒漠化盐碱地治理、菊糖含量、生物技术、茎叶的饲用价值、生物能源(Zubr & Pedersen, 1993;马家津和吕跃刚,2004;王鹏冬等,2004;邓云波等,2005;Sanchez & Cardona, 2008)等方面,主要针对的是菊芋地下部块茎的研究,对于地上部茎叶的研究较少。而菊芋地上茎叶中蛋白质、糖分等营养成分含量较高,生物量占全株总量的 40%~50%,产量可达 $30\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ 以上(李莉和孙雪梅,2011)。本研究在前期对菊芋秸秆发酵后基质化研究的基础上(刘明池等,2017),进行了进一步的深入研究,以期筛选出菊芋秸秆发酵后作为栽培基质的适宜配比,为替代草炭等紧缺资源提供技术支持。

1 材料与方法

1.1 试验材料与试验设计

将菊芋秸秆切碎后用水浸泡, 同时拌入北京园圃园艺公司出的农作物秸秆发酵剂, 再用塑料覆盖, 然后高温腐熟 3 个月以上。番茄品种为荷兰瑞克斯旺公司的‘佳西娜’。2016 年 2—7 月在北京市农林科学院蔬菜研究中心现代化温室内, 使用本中心研发的封闭式槽培系统进行基质栽培。

设置 6 个处理, 以草炭 (体积): 蛭石 (体积) = 2:1 作为基础, 菊芋秸秆添加量分别为 0 (对照)、10%、20%、30%、40%、50%, 即每个栽培槽内草炭、蛭石、菊芋秸秆体积分别为: 8:4:0; 7.2:3.6:1.2; 6.4:3.2:2.4; 5.6:2.8:3.6; 4.8:2.4:4.8; 4.0:2.0:6.0。每个处理设 3 次重复, 每个重复 7 个栽培槽, 并在每一处理起始和末端设 2 个栽培槽作为保护行, 共 25 个栽培槽。每个栽培槽定植 2 株, 共计 50 株。每个栽培槽放 12 L 基质。试验小区面积为 15 m × 9.6 m, 每个处理为 15 m × 1.5 m。2016 年 2 月 5 日定植, 4 月 17 日开始采收果实, 7 月 15 日最后 1 次采收。试验全程统一管理, 浇灌番茄专用营养液, 营养液配方为北京市农林科学院蔬菜研究中心刘增鑫 (2000) 地下水改良配方。

1.2 测定项目及方法

基质物理性状: 容重、持水能力、总孔隙度、通气孔隙、持水孔隙、大小孔隙比, 采用常规方法进行测定。

番茄生长指标: 使用直尺测定株高; 使用游标卡尺测定茎粗; 叶片数直接计数; 单株鲜质量是在试验结束时, 取样品并用清水冲洗擦净后, 用电子天平直接称质量; 单株干质量是将测定单株鲜质量后的样品在 105 °C 下杀青, 75 °C 下烘干, 用电子天平称质量; 产量在番茄果实成熟后直接采收称质量。

光合指标于 2016 年 4 月 28 日使用 CIRAS-2 便携式光合测定系统测定。

根据番茄褪绿病毒 (*Tomato chlorosis virus*, TOCV) 和番茄黄化曲叶病毒 (*Tomato yellow leaf curl virus*, TYLCV) 侵染植株的症状, 按发病严重程度分为 5 级。0 级, 植株无任何症状; 1 级, 植株中下部叶片叶脉间轻微褪绿; 2 级, 植株中下部叶片明显褪绿, 叶脉深绿; 3 级, 植株发病叶片褪绿黄化, 叶缘上卷, 叶片出现红褐色小斑点; 4 级, 植株叶片干枯, 整株死亡。对各试验处理的危害情况进行调查, 病情指数 (DI) = $\sum (\text{各级病株数} \times \text{各级代表值}) / (\text{调查总株数} \times \text{最高级代表值}) \times 100$ 。番茄品质: 维生素 C 含量采用钼蓝比色法测定; 可溶性固形物使用便携式数显糖度计测定; 可滴定酸采用酸碱滴定法测定; 可溶性糖采用蒽酮比色法测定。

数据使用 Excel 2010 和 SPSS17.0 数据分析软件进行的分析处理。

2 结果与分析

2.1 菊芋发酵秸秆复配基质理化性质

分别在定植前 (2016 年 1 月 20 日) 和定植后 (2016 年 5 月 24 日) 对各处理基质进行了分析。定植前 (表 1) 各处理的容重、总孔隙度、持水孔隙随菊芋发酵秸秆添加量的增多呈降低趋势。菊芋发酵秸秆添加量为 30%、40% 和 50% 处理的容重与对照差异显著, 比对照降低了 13.3%、13.3% 和

23.3%。持水孔隙除菊芋发酵秸秆添加量 10%处理,各处理与对照间差异均显著,且比对照降低了 7.0%、8.9%、10.5%、15.6%。基质的持水能力、通气孔隙、大小孔隙比随着菊芋发酵秸秆添加量的增多呈增大趋势,菊芋发酵秸秆添加量为 30%、40%和 50%处理的通气孔隙与对照差异显著,分别增加了 103.9%、187.9%、339.1%。可以看出,菊芋发酵秸秆在持水能力、总孔隙度、通气孔隙、大小孔隙比上优于草炭蛭石基质,容重和持水孔隙较草炭蛭石基质低。

表 1 定植前菊芋发酵秸秆复配基质理化性质
Table 1 Physicochemical property of the mixed substrates with FHTS before planting

菊芋秸秆添加量/% Proportion of FHTS	容重/ (g · cm ⁻³) Bulk density	持水能力/% Water-holding capacity	总孔隙度/% Total porosity	通气孔隙/% Aeration porosity	持水孔隙/% Water retaining porosity	大小孔隙比 Void ratio
0 (对照 Control)	0.30 ± 0.01 a	335.29 ± 3.36 c	74.42 ± 1.25 b	2.07 ± 0.26 e	72.35 ± 1.48 a	0.03 ± 0.00 e
10	0.30 ± 0.01 a	340.15 ± 10.68 bc	73.40 ± 0.74 b	2.75 ± 0.30 de	70.65 ± 0.74 ab	0.04 ± 0.00 e
20	0.29 ± 0.01 ab	334.90 ± 1.04 c	70.55 ± 1.25 c	3.25 ± 0.46 de	67.30 ± 2.73 bc	0.05 ± 0.01 de
30	0.26 ± 0.03 cd	341.25 ± 3.64 bc	70.17 ± 0.84 c	4.22 ± 0.25 d	65.95 ± 2.84 c	0.06 ± 0.00 cd
40	0.26 ± 0.01 bc	351.17 ± 5.54 bc	70.72 ± 0.26 c	5.96 ± 2.11 c	64.77 ± 2.31 c	0.09 ± 0.02 c
50	0.23 ± 0.02 d	360.57 ± 3.07 b	70.19 ± 1.14 c	9.09 ± 1.04 b	61.10 ± 1.28 d	0.15 ± 0.01 b
FHTS	0.11 ± 0.00 e	637.02 ± 27.49 a	83.90 ± 2.44 a	26.00 ± 0.89 a	57.90 ± 2.89 d	0.45 ± 0.03 a

FHTS: Fermented *Helianthus tuberosus* straw.

定植后于 2016 年 5 月 24 日再次测定,发现菊芋发酵秸秆除容重外各指标与定植前相比均呈下降趋势,草炭基质除持水能力和通气孔隙外均呈上升趋势。各处理容重、持水孔隙定植后均呈上升趋势,持水能力均呈下降趋势,总孔隙度、通气孔隙、大小孔隙比呈先上升后下降的趋势(表 2)。

表 2 定植后菊芋发酵秸秆复配基质理化性质
Table 2 Physicochemical property of the mixed substrates with FHTS after planting

菊芋秸秆添加量/% Proportion of FHTS	容重/(g · cm ⁻³) Bulk density	持水能力/% Water-holding capacity	总孔隙度/% Total porosity	通气孔隙/% Aeration porosity	持水孔隙/% Water retaining porosity	大小孔隙比 Void ratio
0 (对照 Control)	0.33 ± 0.01 a	312.22 ± 5.18 c	75.02 ± 1.95 ab	3.60 ± .031 d	71.42 ± 1.10 a	0.05 ± 0.01 f
10	0.31 ± 0.01 b	323.83 ± 15.67 bc	73.28 ± 3.88 b	4.27 ± 0.11 c	69.01 ± 1.47 b	0.06 ± 0.01 ef
20	0.29 ± 0.00 c	330.20 ± 9.99 bc	72.61 ± 2.31 b	4.91 ± 0.45 b	67.70 ± 2.90 b	0.07 ± 0.01 cd
30	0.29 ± 0.01 c	341.20 ± 4.63 b	73.46 ± 0.78 b	4.38 ± 0.15 c	69.08 ± 0.89 b	0.06 ± 0.00 de
40	0.28 ± 0.00 cd	337.74 ± 8.55 b	72.89 ± 1.12 b	5.15 ± 0.15 b	67.74 ± 0.56 b	0.08 ± 0.01 bc
50	0.27 ± 0.01 d	332.33 ± 11.42 bc	67.94 ± 1.26 c	4.90 ± 0.08 b	63.04 ± 0.48 c	0.08 ± 0.00 b
FHTS	0.11 ± 0.02 e	582.55 ± 23.01 a	77.02 ± 4.55 a	21.51 ± 0.29 a	55.51 ± 0.27 d	0.39 ± 0.00 a

2.2 菊芋发酵秸秆复配基质对番茄生长的影响

从表 3 中可以看出,在定植后 82 d,株高以菊芋发酵秸秆添加量 30%处理最高,比对照高 8.22%。

表 3 菊芋发酵秸秆复配基质对番茄株高的影响
Table 3 Effect of mixed substrates with FHTS on plant height of tomato

菊芋秸秆添加量/% Proportion of FHTS	定植后不同天数 Days after planting						cm
	12	25	41	54	68	82	
0 (对照 Control)	37.92 ± 2.82 a	73.00 ± 3.85 b	119.17 ± 10.61 a	157.17 ± 9.11 a	192.63 ± 11.54 a	218.03 ± 4.06 b	
10	36.47 ± 2.06 a	80.17 ± 4.54 a	126.33 ± 8.17 a	157.17 ± 9.70 a	194.65 ± 9.48 a	223.78 ± 13.27 b	
20	37.75 ± 3.24 a	73.67 ± 4.32 b	122.83 ± 8.30 a	158.67 ± 10.95 a	197.58 ± 8.34 a	228.15 ± 7.72 ab	
30	37.95 ± 3.07 a	68.50 ± 6.35 bc	120.67 ± 7.15 a	158.67 ± 9.05 a	199.37 ± 9.58 a	235.95 ± 9.00 a	
40	38.27 ± 3.45 a	68.17 ± 4.62 bc	119.50 ± 6.78 a	152.50 ± 9.89 a	187.55 ± 12.95 a	218.62 ± 11.13 b	
50	32.60 ± 4.22 b	63.00 ± 5.87 c	118.67 ± 4.23 a	153.50 ± 3.27 a	191.52 ± 3.31 a	220.60 ± 5.78 b	

从表 4 中可以看出在定植后 82 d, 叶片数以菊芋发酵秸秆添加量 50%的处理最少, 其他处理较对照无显著差异。

表 4 菊芋发酵秸秆复配基质对番茄叶片数的影响
Table 4 Effect of mixed substrates with FHTS on leaf number of tomato

菊芋秸秆添加量/% Proportion of FHTS	定植后不同天数 Days after planting					
	12	25	41	54	68	82
0 (对照 Control)	12.50 ± 0.55 a	15.33 ± 1.03 a	21.33 ± 0.82 ab	26.00 ± 1.90 a	30.67 ± 1.75 a	33.50 ± 0.55 a
10	12.33 ± 0.82 a	15.33 ± 0.82 a	22.00 ± 1.10 a	25.67 ± 1.63 a	30.67 ± 1.63 a	33.86 ± 0.47 a
20	12.17 ± 0.75 a	14.00 ± 0.63 b	20.17 ± 1.17 bcd	24.33 ± 1.97 a	29.17 ± 2.14 a	32.50 ± 1.05 ab
30	12.17 ± 0.75 a	13.83 ± 0.75 b	20.67 ± 0.82 abc	25.83 ± 1.33 a	30.67 ± 1.03 a	33.33 ± 0.82 a
40	11.83 ± 0.41 a	13.50 ± 1.22 b	19.67 ± 1.51 cd	24.50 ± 1.22 a	29.33 ± 1.37 a	32.33 ± 1.47 ab
50	10.50 ± 0.55 b	13.00 ± 0.63 b	19.00 ± 0.89 d	24.17 ± 1.72 a	29.17 ± 1.94 a	31.83 ± 1.33 b

2.3 菊芋发酵秸秆复配基质对番茄光合参数的影响

从表 5 中可以看出 T_r 、 G_s 、 P_n 随着菊芋发酵秸秆添加量的增大呈先上升后下降的趋势, 而 C_i 呈降低的趋势。10%、20%、30%菊芋发酵秸秆处理, T_r 分别比对照高 24.64%、22.20%、31.47%; G_s 比对照高 22.14%、18.54%和 24.47%; P_n 比对照高 21.53%、17.72%和 14.77%; C_i 均低于对照, 40%和 50%菊芋发酵秸秆添加处理最低。

表 5 菊芋发酵秸秆复配基质对番茄光合参数的影响
Table 5 Effects of mixed substrates with FHTS on photosynthetic parameter of tomato

菊芋秸秆添加量/% Proportion of FHTS	蒸腾速率/ (mmol · m ⁻² · s ⁻¹) T_r	气孔导度/ (mmol · m ⁻² · s ⁻¹) G_s	净光合速率/ (μmol · m ⁻² · s ⁻¹) P_n	胞间 CO ₂ 浓度/ (μmol · mol ⁻¹) C_i
0 (对照 Control)	4.10 ± 0.50 d	200.50 ± 27.22 c	17.33 ± 1.56 c	154.88 ± 26.81 a
10	5.11 ± 0.43 ab	244.89 ± 37.59 a	21.06 ± 1.58 a	134.78 ± 11.98 b
20	5.01 ± 0.41 abc	237.67 ± 30.48 ab	20.40 ± 1.20 a	128.00 ± 23.25 b
30	5.39 ± 0.76 a	249.56 ± 42.94 a	19.89 ± 2.15 ab	134.44 ± 18.08 b
40	4.75 ± 0.26 bc	208.56 ± 17.69 bc	19.79 ± 1.39 ab	97.56 ± 23.90 c
50	4.54 ± 0.40 cd	184.56 ± 19.25 c	18.46 ± 1.32 bc	87.00 ± 12.73 c

2.4 菊芋发酵秸秆复配基质对番茄病情指数的影响

试验后期 (2016 年 6 月 14 日), 植株发生了病毒病侵染, 经北京市农林科学院植物保护环境保护研究所鉴定为番茄褪绿病毒 (*Tomato chlorosis virus*, TOCV) 和番茄黄化曲叶病毒 (*Tomato yellow leaf curl virus*, TYLCV) 的复合侵染。从表 6 中对病情的调查可以看出, 试验后期对照处理番茄病情指数最高, 高于其他处理 53.31%、95.97%、55.18%、47.00%、34.67%。病情指数以菊芋发酵秸秆添加量 20%处理最低。对照处理染病较重的 3 级、4 级的株数占比达到了 44%和 18%, 显著多于添加菊芋发酵秸秆处理。

表 6 菊芋发酵秸秆复配基质对番茄病情指数的影响
Table 6 Effects of mixed substrates with FHTS on disease index (DI) of tomato

菊芋秸秆添加量/% Proportion of FHTS	病情分级 Disease grade					病情指数 DI
	0	1	2	3	4	
0 (对照 Control)	0	0	19	22	9	70.00
10	1	13	26	5	1	45.66
20	6	13	22	1	0	35.72
30	1	15	23	6	1	45.11
40	1	8	27	6	0	47.62
50	1	4	24	9	0	51.98

2.5 菊芋发酵秸秆复配基质对番茄品质的影响

从表 7 中可以看出, 番茄果实可溶性固形物、维生素 C、可溶性糖含量和糖酸比均随菊芋发酵秸秆添加量的增大而呈现先上升后下降的趋势, 菊芋发酵秸秆添加量 10%和 20%处理可溶性固形物差异不显著, 比对照显著增加 7.5%和 9.75%; 维生素 C 含量, 菊芋发酵秸秆添加量 10%、20%、30% 差异不显著, 比对照增加 19.09%、24.97% 和 21.45%; 菊芋发酵秸秆添加量 20%、30%、40%、50% 处理可溶性糖含量和 20%、30%、40%处理糖酸比均显著高于对照; 可滴定酸含量在各处理间无显著差异。

表 7 菊芋发酵秸秆复配基质对番茄品质的影响
Table 7 Effects of mixed substrates with FHTS on quality of tomato

菊芋秸秆添加量/% Proportion of FHTS	可溶性固形物/% Soluble solids	维生素 C/(mg·kg ⁻¹) Vitamin C	可滴定酸/% Titratable acid	可溶性糖/% Soluble sugar	糖酸比 Sugar acid ratio
0 (对照 Control)	8.93 ± 0.33 b	214.29 ± 14.76 b	0.25 ± 0.04 a	2.97 ± 0.68 c	12.80 ± 3.99 c
10	9.60 ± 0.26 a	255.20 ± 6.99 a	0.23 ± 0.04 a	3.69 ± 0.97 bc	15.43 ± 2.24 bc
20	9.80 ± 0.10 a	267.79 ± 7.28 a	0.24 ± 0.038 a	5.71 ± 1.12 a	25.33 ± 8.47 a
30	8.87 ± 0.15 b	260.26 ± 21.87 a	0.21 ± 0.00 a	5.74 ± 0.54 a	26.93 ± 2.72 a
40	8.77 ± 0.21 b	223.97 ± 9.63 b	0.19 ± 0.04 a	4.76 ± 0.45 ab	23.04 ± 2.06 ab
50	7.27 ± 0.32 c	221.98 ± 4.37 b	0.23 ± 0.034 a	4.80 ± 0.89 ab	20.27 ± 1.11 abc

2.6 菊芋发酵秸秆复配基质对番茄产量的影响

定植后 72 ~ 161 d 共采收了 9 次。通过表 8 可以看出, 番茄单株总产量以菊芋发酵秸秆添加量 20%、10%和 40%处理显著高于对照 14.50%、12.50%和 8%。各处理 (0 ~ 50%) 最后一次采收时 (定植后 161 d) 的产量相比各自单次最高产量, 下降比例分别为 58.82%、27.27%、9.38%、17.24%、13.33% 和 6.25%, 可以看出对照处理产量下降比例最大, 50%处理下降比例最小, 其次为 20%处理。

表 8 菊芋发酵秸秆复配基质对番茄单株产量的影响
Table 8 Effects of mixed substrates with FHTS on yield per tomato plant

菊芋秸秆添加量/% Proportion of FHTS	定植后不同天数 Days after planting					kg
	72	82	92	102	111	
0 (对照 Control)	0.13 ± 0.01 d	0.26 ± 0.02 ab	0.34 ± 0.01 a	0.29 ± 0.02 a	0.31 ± 0.01 ab	
10	0.15 ± 0.01 bc	0.28 ± 0.02 a	0.33 ± 0.01 ab	0.28 ± 0.02 ab	0.30 ± 0.01 b	
20	0.17 ± 0.01 a	0.22 ± 0.01 cd	0.31 ± 0.02 bc	0.27 ± 0.01 ab	0.32 ± 0.01 a	
30	0.16 ± 0.02 ab	0.22 ± 0.02 cd	0.29 ± 0.03 cd	0.25 ± 0.01 b	0.27 ± 0.02 c	
40	0.16 ± 0.01 ab	0.24 ± 0.01 bc	0.28 ± 0.01 d	0.22 ± 0.02 c	0.25 ± 0.01 d	
50	0.14 ± 0.01 cd	0.20 ± 0.02 d	0.27 ± 0.01 d	0.19 ± 0.02 d	0.24 ± 0.01 d	
菊芋秸秆添加量/% Proportion of FHTS	定植后不同天数 Days after planting				总产量	
	121	132	144	161	Total yield	
0 (对照 Control)	0.22 ± 0.01 b	0.17 ± 0.03 a	0.15 ± 0.01 b	0.14 ± 0.01 c	2.00 ± 0.04 d	
10	0.27 ± 0.01 a	0.22 ± 0.01 a	0.17 ± 0.02 b	0.24 ± 0.01 b	2.25 ± 0.04 ab	
20	0.27 ± 0.02 a	0.22 ± 0.01 a	0.22 ± 0.02 a	0.29 ± 0.02 a	2.29 ± 0.11 a	
30	0.27 ± 0.01 a	0.23 ± 0.01 a	0.17 ± 0.02 b	0.24 ± 0.02 b	2.11 ± 0.09 cd	
40	0.25 ± 0.02 ab	0.30 ± 0.03 a	0.20 ± 0.02 a	0.26 ± 0.01 b	2.16 ± 0.10 bc	
50	0.23 ± 0.02 b	0.32 ± 0.02 a	0.22 ± 0.01 a	0.30 ± 0.01 a	2.12 ± 0.06 cd	

3 讨论

3.1 菊芋发酵秸秆对复配基质理化特性改良作用

无土栽培基质需要有适宜的物理化学以及生物学性状, 一般来说, 基质容重在 0.1 ~ 0.8 g·cm⁻³

范围内, 基质的总孔隙度在 54%~96% 范围内, 大小孔隙比在 1:2~4 范围内为宜 (郭世荣, 2005)。随着穴盘育苗技术和无土栽培技术的推广应用, 中国对于基质的需求逐年增加, 目前中国的基质仍以草炭、蛭石、珍珠岩为主, 试验中草炭、蛭石基质总孔隙度和通气孔隙较差, 而容重和持水孔隙则较理想。相反, 菊芋发酵秸秆容重、持水孔隙较低, 但总孔隙度和通气孔隙较大。因此, 菊芋发酵秸秆与草炭、蛭石进行混合配制, 能够实现容重、持水孔隙、总孔隙度和通气孔隙间的互相弥补, 满足作物生长对基质的要求。

3.2 不同比例复配基质对番茄生长发育和果实品质的影响

栽培基质是否适宜将直接影响根系的生长发育, 从而影响对水肥的吸收, 最终影响作物的生长发育和产量品质。本研究中复配基质提高了番茄的株高和叶片数, 在菊芋发酵秸秆添加量为 30% 时, 对株高的增加最为显著。复配基质增加了净光合速率, 提高了光合作用, 促进了番茄的生长发育, 对产量的提升显著, 并且菊芋发酵秸秆添加量为 20% 时, 产量增加幅度最大。复配基质提升了可溶性固形物、维生素 C、可溶性糖的含量, 提高了糖酸比等指标。菊芋发酵秸秆添加量为 30% 时, 糖酸比相比对照增加了 110.39%。此外, 复配基质除增加株高和提升产量, 还在生产中后期减缓了番茄株高生长速度和产量的下降幅度, 因此添加菊芋发酵秸秆的复配基质对番茄的生长较为适宜, 能够持续提供根系适宜的生长环境, 对于番茄的生长、品质和产量形成较为有利。

3.3 菊芋发酵秸秆基质化对番茄抗病性的影响分析

番茄褪绿病毒病最早于 1989 年在美国佛罗里达州温室栽培番茄上出现 (Wisler et al., 1998), 中国番茄褪绿病毒病最早于 2004 年在台湾被报道, 2011 年在山东寿光被发现, 2013 年在山东省大面积暴发, 部分温室发病株率达 20%~100%, 造成番茄减产 10%~40% (刘永光 等, 2014)。相继又在北京 (Zhang et al., 2013)、江苏 (Karwitha et al., 2014)、天津 (高利利 等, 2015)、河南 (胡京昂 等, 2015)、河北 (孙国珍 等, 2015) 等地番茄植株上检测出了该病毒。番茄褪绿病毒病具有暴发性和流行性, 可能成为继番茄黄化曲叶病毒病之后的又一种重要病害。本研究对病情指数的调查发现, 添加菊芋发酵秸秆的复配基质番茄病情指数均低于对照处理, 添加量为 20% 的处理比未添加处理低 48.97%, 从染病严重程度看, 添加菊芋发酵秸秆处理染病症状为 3 级和 4 级的株数显著少于未添加处理。有研究报道菊芋的茎和叶具有抗氧化、抗细菌、抗真菌的活性 (Ahmed et al., 2005; Pan et al., 2009; Yuan et al., 2012)。袁晓艳等 (2008) 指出菊芋中含有大量酚酸类物质, 该物质能有效的预防植物病害 (Wen et al., 2003)、昆虫入侵 (Friedman, 1997; Percival et al., 1999) 等作用。本研究中番茄抗病性显著提升可能与菊芋茎叶中的抗细菌和抗真菌活性物质有关, 也可能与菊芋中酚酸类物质对烟粉虱等害虫入侵的预防作用有关; 同时, 添加菊芋发酵秸秆后, 株高和产量后期增长速度下降幅度显著低于未添加处理, 可能也与菊芋茎叶中抗氧化等物质有关。有关菊芋发酵秸秆提高植株抗病性, 减缓植株老化的作用因素将进一步分析研究。

3.4 菊芋发酵秸秆基质化的应用前景分析

草炭由于其优良的物理和化学性状, 是蔬菜育苗基质和无土栽培基质的常见组分。而草炭短期内不可再生、资源紧缺, 使用过度会破坏生态环境。菊芋发酵秸秆基质显著促进了番茄的生长, 提高了番茄的产量, 改善了品质, 并且提高了番茄的抗病性, 是较适宜的番茄栽培基质。菊芋地上茎叶生物量占全株总量的 40%~50%, 产量可达 $30\text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 以上 (李莉和孙雪梅, 2011), 菊芋秸秆基质化不仅解决了秸秆的处理问题, 同时也实现了菊芋的综合开发, 对于减少草炭等资源的利用以及

生态环境的破坏具有重要意义。

农作物秸秆作为栽培基质使用首先要进行工艺化处理，而秸秆腐熟发酵是常用的手段。一般来说，作为栽培基质应满足三方面的标准：易分解的有机物大部分分解；基质进行栽培过程中不发生氮的生物固定；通过降解除去酚类等有害物质，消灭病原菌、害虫卵和杂草种籽等（刘更另，1991；李承强 等，1999）。研究表明发酵秸秆的长度将会影响发酵后基质的通气孔隙和持水孔隙，而秸秆发酵后的 C/N 则会影响基质的稳定性（张晔，2013）。因此，提高发酵的效果和工艺是研究的重点。本研究中考定植前和定植后的基质理化性状均发生了变化，其中大小孔隙比下降幅度超过 10%，可能本研究中菊芋秸秆发酵技术还需改进。本研究中实现草炭基质 20% 替代量时达到最大产量，实现 30% 替代量时达到最佳品质。根据本研究结果，研究菊芋秸秆的发酵技术，及与其他基质复配的可行性，形成稳定的发酵秸秆基质和复配配方，为实现草炭完全替代和推广应用提供技术支持。

4 结论

菊芋发酵秸秆复配基质适用于番茄基质栽培，可实现对草炭的部分替代，可提高番茄株高和产量，减缓植株的老化；提高了植株的光合速率，提升了可溶性固形物、维生素 C、可溶性糖的含量，提高了糖酸比；同时，显著提高了抗病性。在无土栽培复配基质中添加 20% 的菊芋发酵秸秆，产量最高，添加量为 30% 时品质最佳。

References

- Ahmed M S, El-Sakhawy Fatma, Soliman S N, Abou-Hussein Dina R. 2005. Phytochemical and biological study of *Helianthus tuberosus* L. Egypt Journal of Biomedicine Science, 18: 134 – 147.
- Deng Yun-bo, Sun Zhi-liang, Ge Bing, Tan Yun-hua. 2005. A novel feed additive – Inulin. Hunan Journal of Animal Science & Veterinary Medicine, (6): 29 – 30. (in Chinese)
- 邓云波, 孙志良, 葛冰, 谭运华. 2005. 一种新型饲料添加剂—菊糖. 湖南畜牧兽医, (6): 29 – 30.
- Friedman M. 1997. Chemistry, biochemistry, and dietary role of potato polyphenols. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 45 (5): 1523 – 1540.
- Gao Li-li, Sun Guo-zhen, Wang Yong, Gao Wei, Zhang Chun-xiang, Zhang An-sheng, Zhu Xiao-ping. 2015. Molecular detection and identification of *Tomato chlorosis virus* in Tianjin. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 30 (3): 211 – 215. (in Chinese)
- 高利利, 孙国珍, 王勇, 高苇, 张春祥, 张安胜, 竺晓平. 2015. 天津地区番茄褪绿病毒的分子检测和鉴定. 华北农学报, 30 (3): 211 – 215.
- Ge Mi-hong, Chen Gang, Hong Juan, Huang Xiang, Zhang Li-hong, Wang Lei, Ye Li-xia, Wang Xiao-dong. 2012. Screening for formulas of complex substrates for seedling cultivation of tomato and marrow squash. Procedia Environmental Sciences, 16: 606 – 615.
- Ghehsareh A M, Hematian M, Kalbasi M. 2012. Comparison of date palm wastes and perlite as culture substrates on growing indices in greenhouse cucumber. International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture, 1: 1 – 5.
- Guo Shi-rong. 2005. Research progress, current exploitations and developing trends of solid cultivation medium. Transactions of the CSAE, 21 (12): 1 – 4. (in Chinese)
- 郭世荣. 2005. 固体栽培基质研究、开发现状及发展趋势. 农业工程学报, 21 (12): 1 – 4.
- Hu Jing-ang, Wan Xiu-juan, Li Zi-juan, Huang Wen, Li Wu-gao, Ying Fang-qing. 2015. Molecular identification on *Tomato chlorosis virus* in Henan Province. China Vegetables, (12): 25 – 28. (in Chinese)
- 胡京昂, 万秀娟, 李自娟, 黄文, 李武高, 应芳卿. 2015. 河南番茄褪绿病毒的分子鉴定. 中国蔬菜, (12): 25 – 28.
- Jiang Wei-jie. 1988. Vegetable soilless cultivation new technology. Beijing: Jindun Publishing House: 115 – 126. (in Chinese)

- 蒋卫杰. 1988. 蔬菜无土栽培新技术. 北京: 金盾出版社: 115 - 126.
- Karwitha Miriam, Feng Zhi-ke, Yao Min, Tao Xia-rong. 2014. The complete nucleotide sequence of the RNA1 of a Chinese isolate of *Tomato chlorosis virus*. *Journal of Phytopathology*, 162 (6): 411 - 415.
- Li Cheng-qiang, Wei Yuan-song, Fan Yao-bo, Wang Min-jian. 1999. Advances in study of compost maturity. *Advances in Environmental Science*, 7 (6): 1 - 12. (in Chinese)
- 李承强, 魏源送, 樊耀波, 王敏健. 1999. 堆肥腐熟度的研究进展. *环境科学进展*, 7 (6): 1 - 12.
- Li Li, Sun Xue-mei. 2011. Analysis on the development of *Jerusalem artichoke* industry. *China Seed Industry*, (9): 22 - 24. (in Chinese)
- 李 莉, 孙雪梅. 2011. 青海高原菊芋产业发展探析. *中国种业*, (9): 22 - 24.
- Li Ping-ping, Hu Yong-guang, Li Shi-jun, Cheng Fei. 2000. Study on the effect of reed residue organic substrate used in lettuce and tomato culture. *Journal of Shenyang Agricultural University*, 31 (1): 93 - 95. (in Chinese)
- 李萍萍, 胡永光, 李式军, 程 斐. 2000. 芦苇末有机基质在蔬菜栽培上应用效果的研究. *沈阳农业大学学报*, 31 (1): 93 - 95.
- Li Qian-sheng, Guo Shi-rong, Li Shi-jun. 2002. Utilization of organic wastes for manufacturing soilless media. *Journal of Natural Resources*, 17 (4): 515 - 519. (in Chinese)
- 李谦盛, 郭世荣, 李式军. 2002. 利用工农业有机废弃物生产优质无土栽培基质. *自然资源学报*, 17 (4): 515 - 519.
- Liu Geng-ling. 1991. *China organic manures nutrient*. Beijing: Agriculture Press. (in Chinese)
- 刘更另. 1991. 中国有机肥料. 北京: 农业出版社.
- Liu Ming-chi, Ji Yan-hai, Zhao Meng-liang, Wu Zhan-hui. 2017. Fermented *Jerusalem artichoke* straw affecting the growth and development of tomato. *Journal of Agriculture*, 7 (1): 63 - 68. (in Chinese)
- 刘明池, 季延海, 赵孟良, 武占会. 2017. 菊芋发酵秸秆复合基质对番茄生长发育的影响. *农学学报*, 7 (1): 63 - 68.
- Liu Shi-zhe. 2001. *Modern practical soilless cultivation techniques*. Beijing: China Agriculture Press: 4 - 25. (in Chinese)
- 刘士哲. 2001. 现代实用无土栽培技术. 北京: 中国农业出版社: 4 - 25.
- Liu Tong-jin, Cheng Zhi-hui, Meng Huan-wen, Ahmad Imran, Zhao Hui-ling. 2014. Growth, yield and quality of spring tomato and physicochemical properties of medium in a tomato/garlic intercropping system under plastic tunnel organic medium cultivation. *Scientia Horticulturae*, 170: 159 - 168.
- Liu Yong-guang, Wei Jia-peng, Qiao Ning, Li Mei-qin, Liu Xiao-ming, Zhu Xiao-ping. 2015. *Tomato chlorosis virus* outbreaks in Shandong and prevention measures. *China Vegetables*, (5): 67 - 69. (in Chinese)
- 刘永光, 魏家鹏, 乔 宁, 李美芹, 刘晓明, 竺晓平. 2014. 番茄褪绿病毒在山东暴发及其防治措施. *中国蔬菜*, (5): 67 - 69.
- Liu Zeng-xin. 2000. *Soilless culture of special vegetables*. Beijing: China Agriculture Press: 144 - 147. (in Chinese)
- 刘增鑫. 2000. 特种蔬菜无土栽培. 北京: 中国农业出版社: 144 - 147.
- Ma Jia-jin, Lü Yue-gang. 2004. Study on ethanol two steps fermentation by immobilized inclines & yeast cell using inulin as raw material. *Journal of Beijing Technology and Business University (Natural Science Edition)*, 22 (6): 8 - 10. (in Chinese)
- 马家津, 吕跃钢. 2004. 以菊芋为原料利用固定化酶和细胞两步法发酵生产乙醇. *北京工商大学学报 (自然科学版)*, 22 (6): 8 - 10.
- Pan Li, Sinden Michelle R, Kennedy Aaron H, Chai Heebyung, Watson Linda E, Graham Terrence L, Kinghorn A Douglas. 2009. Bioactive constituents of *Helianthus tuberosus* (*Jerusalem artichoke*). *Phytochemistry Letter*, 2 (1): 15 - 18.
- Percival G C, Karim M S, Dixon G R. 1999. Pathogen resistance in aerial tubers of potato cultivars. *Plant Pathology*, 48 (6): 768 - 776.
- Qin Ling, Wei Qin-ping, Li Jia-rui, Wang Xiao-wei, Liu Jun. 2005. Effects of peat on water conserving properties of sandy soil. *Transactions of the CSAE*, 21 (10): 51 - 54. (in Chinese)
- 秦 玲, 魏钦平, 李嘉瑞, 王小伟, 刘 军. 2005. 草炭对砂质土壤保水特性的影响. *农业工程学报*, 21 (10): 51 - 54.
- Sanchez O J, Cardona C A. 2008. Trends in biotechnological production of fuel ethanol from different feed stocks. *Bioresource Technology*, 99 (13): 5270 - 5295.
- Sun Guo-zhen, Gao Li-li, Lu Wen-li, Wang Yong, Zhang An-sheng, Zhu Xiao-ping. 2015. Molecular detection and identification of *Tomato chlorosis virus* infecting greenhouse-grown tomato plants in Hebei Province. *Horticulture*, (9): 95 - 98. (in Chinese)
- 孙国珍, 高利利, 陆文利, 王 勇, 张安胜, 竺晓平. 2015. 河北省设施番茄褪绿病毒分子检测和鉴定研究. *北方园艺*, (9): 95 - 98.

- Torkashvand A M, Alidoust M, Khomami A M. 2015. The reuse of peanut organic wastes as a growth medium for ornamental plants. International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture, 4 (2): 85 - 94.
- Wang Bo, Wang Shu-peng, Hu Yun-fei, Xue Juan, Yang Bing-li, Feng Zhi, Yu Ji-hua. 2015. Effect of different complex substrates on growth, quality and yield of tomatoes cultured in greenhouse. Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica, 24 (8): 131 - 138. (in Chinese)
- 王 博, 王树鹏, 胡云飞, 薛 娟, 杨兵丽, 冯 致, 郁继华. 2015. 不同配方复合基质对设施番茄栽培生长、品质及产量的影响. 西北农业学报, 24 (8) : 131 - 138.
- Wang Peng-dong, Yang Xin-yuan, Zhang Jie. 2004. Application of *Jerusalem artichoke* in sunflower breeding. Shanxi Journal of Agricultural Sciences, (4): 38 - 39. (in Chinese)
- 王鹏冬, 杨新元, 张 捷. 2004. 菊芋在向日葵育种中的应用. 陕西农业科学, (4): 38 - 39.
- Wen A, Delaquis P, Stanich K, Toivonen P. 2003. Antilisterial activity of selected phenolic acids. Food Microbiology, 20 (3): 305 - 311.
- Wisler G C, Li R H, Liu H Y, Lowry D S, Duffus J E. 1998. *Tomato chlorosis virus*: a new whitefly transmitted, phloem limited, bipartite closterovirus of tomato. Phytopathology, 88 (5): 402 - 409.
- Wu Hui, Jia Yang, Gao Jie, Gulipiresi · Nuer. 2012. Effects of different mixing cotton straw substrates on growth of pepper seedlings. Northern Horticulture, (21): 1 - 4. (in Chinese)
- 吴 慧, 贾 杨, 高 杰, 古丽皮热斯 · 努尔. 2012. 不同配比棉花秸秆基质对辣椒幼苗生长的影响. 北方园艺, (21): 1 - 4.
- Yuan Xiao-yan, Gao Ming-zhe, Wang Kai, Xiao Hong-bin, Tan Cheng-yu, Du Yu-guang. 2008. Analysis of chromogenic acids in *Helianthus tuberosus* Linn leaves using high performance liquid chromatography - mass spectrometry. Chinese Journal of Chromatography, 26 (3): 335 - 338. (in Chinese)
- 袁晓艳, 高明哲, 王 楷, 肖红斌, 谭成玉, 杜昱光. 2008. 高效液相色谱—质谱法分析菊芋叶中的绿原酸类化合物. 色谱, 26 (3): 335 - 338.
- Yuan Xiao-yan, Gao Ming-zhe, Xiao Hong-bin, Tan Cheng-yu, Du Yu-guang. 2012. Free radical scavenging activities and bioactive substances of *Jerusalem artichoke* (*Helianthus tuberosus* L.) leaves. Food Chemistry, 133: 10 - 14.
- Zeng Qing-hua, Mao Xing-ping, Sun Jin, Guo Shi-rong, Liu Chao-jie. 2011. Physicochemical indexes of mixed substrates of wheat (*Triticum aestivum*) straw and its effect on growth and photosynthetic parameters of *Cucumis sativus* seedling. Journal of Plant Resources and Environment, 20 (4): 70 - 75. (in Chinese)
- 曾清华, 毛兴平, 孙 锦, 郭世荣, 刘超杰. 2011. 小麦秸秆复合基质的理化指标及其对黄瓜幼苗生长和光合参数的影响. 植物资源与环境学报, 20 (4): 70 - 75.
- Zhang Li-jie, Zhou Ling-ling, Li Zhi-qiang, Ji Xiao-qin, Tian Fu-fa, Jiang Ruo-yong, Huang Dao-jun. 2014. Effects of cassava compound substrate on growth, development and yield quality of cucumber in solar greenhouse. Jiangsu Agricultural Sciences, 42 (3): 109 - 111. (in Chinese)
- 张黎杰, 周玲玲, 李志强, 吉晓芹, 田福发, 姜若勇, 黄道君. 2014. 菌渣复合基质栽培对日光温室黄瓜生长发育和产量品质的影响. 江苏农业科学, 42 (3): 109 - 111.
- Zhang Qing-li, Yan Yi, Shen Jin-yu, Huang Jie. 2013. Development of a reverse transcription loop-mediated isothermal amplification assay for rapid detection of grass carp reovirus. Journal of Virological Methods, 187: 384 - 389.
- Zhang Run-hua, Duan Zeng-qing, Li Zhi-guo. 2012. Use of spent mushroom substrate as growing media for tomato and cucumber seedlings. Pedosphere, 22 (3): 333 - 342.
- Zhang Ye. 2013. Studies on the preliminary treatment of cotton straw composting as soilless culture substrate and effect on the cucumber growth[M. D. Dissertation]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences. (in Chinese)
- 张 晔. 2013. 棉秆作为无土栽培基质的前处理技术及其对黄瓜生长的影响[硕士论文]. 北京: 中国农业科学院.
- Zubr J, Pedersen H S. 1993. Characteristics of growth and development of different *Jerusalem artichoke* cultivars Inulin and inulin containing crops. Studies in Plant Science, 3: 11 - 19.