

以废弃羽毛、菌渣为主的基质及其应用效果

谢小林^{1,2}, 李成江^{1,2}, 周 莲^{1,2}, 陈 猛^{1,3},
刘玉敏^{1,2}, 王 勇², 李燕旋¹, 姚 青³, 朱红惠¹

(1. 华南应用微生物国家重点实验室·农业农村部农业微生物组学与精准应用重点实验室·农业农村部农业微生物组学重点实验室·广东省菌种保藏与应用重点实验室·广东省科学院微生物研究所 广州 510070;
2. 广东博沃特生物技术有限公司 广东韶关 512000; 3. 华南农业大学园艺学院 广州 510642)

摘 要:为促进废弃羽毛、菌渣的资源化利用,寻找草炭的适宜替代原料,用发酵完全的羽毛、菌渣联合发酵物去替代草炭,添加蛭石、珍珠岩配制不同比例的基质,研究其对上海青、番茄、辣椒的出苗率、基质理化性质及辣椒生长发育和产量的影响。结果表明,与草炭基质(CK)相比,用25%、50%、75%和100%的羽毛、菌渣联合发酵物替代草炭,上海青种子出苗率随羽毛、菌渣联合发酵物增加而降低,当替代量为50%时,上述种子出苗率与CK间无显著差异,而当替代量为75%时,上海青种子出苗率则较CK降低44.79%。从基质理化性质来看,用羽毛、菌渣联合发酵物去替代草炭,基质的pH值、EC值、容重较CK显著提高。对于辣椒生长发育及产量而言,当羽毛、菌渣联合发酵物替代量为50%时,辣椒株高、茎粗、叶长、叶面积、叶绿素含量和植株鲜质量较CK显著增加,单果质量和单株产量分别较CK显著增加36.33%和118.95%。综上,用发酵完全的羽毛、菌渣联合发酵物替代草炭能提高基质的pH值、EC值和容重,促进辣椒生长,提高植株鲜质量,从而提高辣椒单果质量和单株产量,但用作种苗培育时,羽毛、菌渣联合发酵物的替代量应控制在50%以下,否则会影响蔬菜种子出苗。

关键词:废弃羽毛;菌渣;栽培基质;种苗培育

中图分类号: S646

文献标志码: A

文章编号: 1673-2871(2024)06-119-07

Study on the application effect of waste feather and mushroom residue as main substrates

XIE Xiaolin^{1,2}, LI Chengjiang^{1,2}, ZHOU Lian^{1,2}, CHEN Meng^{1,3}, LIU Yumin^{1,2}, WANG Yong², LI Yanxuan¹, YAO Qing³, ZHU Honghui¹

(1. State Key Laboratory of Applied Microbiology Southern China/Key Laboratory of Agricultural Microbiomics and Precision Application(MARA)/Key Laboratory of Agricultural Microbiome(MARA)/Guangdong Provincial Key Laboratory of Microbial Culture Collection and Application/Institute of Microbiology, Guangdong Academy of Sciences, Guangzhou 510070, Guangdong, China; 2. Guangdong Bowote Biotechnology Co., Ltd., Shaoguan 512000, Guangdong, China; 3. College of Horticulture, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, Guangdong, China)

Abstract: In order to improve the resource utilization of waste feathers and mushroom residue, and to find suitable substitute raw materials for peat, fully fermented feathers and mushroom residues combined with fermented products were used to replace peat. Different proportions of substrates were prepared by adding vermiculite and perlite and their effects on the seedling emergence rate of Shanghai green, tomato, and pepper, physical and chemical properties of the substrates, the growth and yield of pepper. The results show that compared with CK, when 25%, 50%, 75% and 100% feather-residue combined fermentation were used the seed emergence rate showed a trend of first increase and then decrease. When the replacement amount was 50%, there was no significant difference between the seed emergence rate and CK. However, when the replacement amount was 75%, the seed emergence rate of Shanghai green seeds decreased by 44.79%. From the physical and chemical properties of the substrates, the pH, EC and bulk mass of the substrates were significantly in-

收稿日期: 2023-11-02; 修回日期: 2024-02-04

基金项目: 韶关市科技计划项目(220805106270728); 广州市科技计划项目(202201011832); 广东特支计划项目(2021JC06N628); “十四五”广东省农业科技创新十大主攻方向“揭榜挂帅”项目(2022SDZG09, 2023SDZG09)

作者简介: 谢小林, 男, 高级工程师, 主要从事农用固体有机废弃物资源化利用工作。E-mail: 522353739@qq.com

共同第一作者: 李成江, 女, 工程师, 主要从事农用固体有机废弃物基质化开发工作。E-mail: 1311541782@qq.com

通信作者: 朱红惠, 女, 研究员, 主要从事农用微生物种质资源挖掘及创新利用工作。E-mail: zhuhh@gdim.cn

creased when feathers and mushroom residue combined with fermentation were used to replace the peat. For the growth, development and yield of pepper, plant height, stem diameter, leaf length, leaf area, chlorophyll content and fresh plant mass of pepper were significantly increased when the replacement amount of feather and mushroom residue combined with fermentation was 50%, and the single fruit mass and yield per plant were increased by 36.33% and 118.95%, respectively. To sum up, the use of fully fermented feathers, mushroom residue combined fermentation to replace peat can improve the pH, EC and bulk density of the substrates, promote the growth of pepper, promote plant fresh mass, thereby increasing the single fruit mass of pepper and single plant yield. However, when used for seedling cultivation, the replacement amount of feathers and mushroom residue combined fermentation should be controlled below 50%, otherwise it will affect the emergence of vegetable seeds.

Key words: Waste feather; Mushroom residue; Cultivation medium; Seedlings cultivation

随着人们生活水平的提高,我国蔬菜产业迅猛发展,截至2022年12月,我国蔬菜种植面积达2 246.67万 hm^2 ,产量达8亿 $\text{t}^{[1]}$ 。随着产业的发展,我国对蔬菜无土栽培基质的需求不断扩大,同时对无土栽培基质的品质提出了更高的要求^[2-3]。蔬菜栽培基质是蔬菜幼苗生长发育的载体,不仅影响着蔬菜幼苗的生长速度及品质,还影响蔬菜定植后的成活率及缓苗时间,进而影响产量及品质^[4-7]。草炭被认为是蔬菜无土栽培的理想基质,但因价格高且属于不可再生资源,长期开采会破坏生态环境等^[8-9]。因此,寻找来源广泛、价格低廉又便于规模化生产的新型无土栽培基质成为当前设施蔬菜领域的研究热点。

近年来,以农林有机废弃物为主的无土栽培基质引起国内外学者的广泛关注,同时也研发出以秸秆、家禽粪便、椰糠、稻壳炭、菌渣、锯木屑、厨余垃圾、中药渣等为主的无土栽培基质^[6,10-14]。这些栽培基质不仅材料来源广泛、价格低廉,而且能避免农林废弃物的二次污染。我国每年产出约150万 t 家禽羽毛废弃物,但大部分作为垃圾丢弃^[15]。有研究发现,羽毛通过微生物降解后能释放出17种氨基酸,可以作为肥料应用到农业生产中^[16-17],但尚未见其在无土栽培基质中应用的报道。我国食用菌渣产量也超过200万 $\text{t}^{[18]}$,菌渣中的菌体蛋白及未被利用的氮、磷、钾等元素能为幼苗生长提供营养,是一种理想的有机基质。若能将废弃羽毛、菌渣经微生物发酵后用于蔬菜无土栽培基质以替代草炭基质,不仅可以培育壮苗、降低蔬菜栽培成本,而且可以实现废弃羽毛和菌渣的资源化利用,实现经济效益和生态效益的双重提高。笔者以发酵完全的废弃羽毛、菌渣联合发酵物替代草炭,添加蛭石、珍珠岩配制成不同比例的基质,研究其对上海青、番茄、辣椒种子出苗率(安全性评估)、基质理化性质和辣椒生长发育、产量的影响,旨在寻找草炭替代原料的

同时实现废弃羽毛和菌渣的资源化利用。

1 材料与方法

1.1 供试材料

试验于2020年4—9月在广东省科学院微生物研究所实验室和温室大棚进行。供试上海青(品种为上海抗热605)、番茄(品种为新金丰一号)、辣椒(品种为朝天椒王子)种子均购买自广州长合种子有限公司,盆栽用辣椒苗由实验室育苗,培养至3叶1心时备用。供试肥料为霍格兰营养液,具体配制方法参考柳嘉怡等^[19]的报道。供试对照栽培基质为 $V_{\text{草炭}}:V_{\text{蛭石}}:V_{\text{珍珠岩}}=2:1:1$ 。供试草炭、蛭石(3~6 mm)、珍珠岩(3~6 mm)均为市场购买。

1.2 方法

1.2.1 羽毛、菌渣联合发酵 按C/N比(25~30):1将菌渣和废弃羽毛混合均匀,向混合料中加入2%的解淀粉芽孢杆菌和潮湿纤维单胞菌混合发酵液,调节混合物料的含水量至60%~70%,进行堆肥发酵。当堆体温度上升至55~65 $^{\circ}\text{C}$ 时进行翻堆、补水处理,以后每7 d翻堆、补水1次,直到物料完全腐熟。具体发酵方法见专利^[20]。

1.2.2 羽毛、菌渣联合发酵物最适替代量筛选 为保证基质的安全性并探究其羽毛、菌渣联合发酵物的最适替代量,以上海青为研究对象,设置羽毛、菌渣联合发酵物替代草炭的量为0、25%、50%、75%和100%,分别标记为CK、T1、T2、T3、T4,具体基质配比见表1。试验步骤为:将各基质原料按比例混匀,用喷壶将基质洒湿(湿润程度以握之成团,散之成沙为宜),然后将基质装入培养皿中(直径9 cm),每皿装20 g,将50粒大小一致的上海青种子均匀播撒到装有基质的培养皿中,每个处理4次重复,用基质将种子盖住,用喷壶将基质表面喷湿,放入27 $^{\circ}\text{C}$ 生化培养箱中黑暗培养,之后每天观察1次种子出苗情况并用喷壶将基质表面喷湿,4 d后统计

表 1 基质配比(V/V)
Table 1 Substrate ratio (V/V)

处理 Treatment	羽毛、菌渣联合发酵物 Feather and mushroom residue combined fermentation	草炭 Turf	蛭石 Vermiculite	羽毛、菌渣联合发酵物替代草炭的百分比/% Percentage of feather, fungus and residue combined fermentation instead of grass charcoal
CK	0.0	2.0	1	0
T1	0.5	1.5	1	25
T2	1.0	1.0	1	50
T3	1.5	0.5	1	75
T4	2.0	0.0	1	100

上海青种子出苗率。

根据上海青的出苗结果,筛选出羽毛、菌渣联合发酵物的最适替代量,并与蛭石、珍珠岩按体积比 2:1:1 混合,进一步研究其对番茄、辣椒种子出苗率的影响。方法同上。

1.2.3 辣椒盆栽试验 盆栽试验共设 3 个处理,分别记作 CK、D1 和 D2(具体配方见表 2),每个处理 15 次重复,随机排列。具体试验步骤为:辣椒种子催芽后播种于装有育苗基质的 32 孔穴盘中,待辣椒苗长至 3 叶 1 心时移栽。将基质装入上口直径 5 cm,下口直径 3.5 cm,高 4.7 cm 的花盆中,每盆装 200 g,并定植 1 株辣椒苗。定植成活后每 5 d 浇 1 次霍格兰营养液,其他管理按辣椒正常栽培管理进行。

表 2 不同基质配方(V/V)
Table 2 Different substrate formulations (V/V)

处理 Treatment	羽毛、菌渣联合发酵物 Feather and mushroom residue combined fermentation	草炭 Turf	蛭石 Vermiculite	珍珠岩 Perlite
CK	0.0	2.0	1	1
D1	0.5	1.5	1	1
D2	1.0	1.0	1	1

1.3 测定项目与方法

1.3.1 基质理化性质测定 参照《NY/T 2118—2012 蔬菜育苗基质》方法测定基质总孔隙度、通气孔隙度、持水孔隙度、pH 值、EC 值、容重,每个处理测定 3 次。

1.3.2 种子出苗率测定 上海青种子培养 4 d,番茄、辣椒种子培养 7 d,培养结束后统计各蔬菜种子的出苗率。种子出苗率/%=种子出苗数/供试种子数×100。

1.3.3 辣椒农艺性状及产量测定 定植后 30 d,每个处理选取 7 株调查辣椒株高、茎粗、叶长、叶宽和叶面积,选取 3 株调查叶绿素含量及植株鲜干质

量。其中,用直尺测定株高、叶长和叶宽,叶面积=叶长×叶宽×叶面积系数,用游标卡尺测定茎粗,用分光光度法测定^[21]叶绿素含量,用称重法和烘干法测定^[22]地上部和地下部鲜干质量。定植后 80 d 开始选取 5 株统计辣椒的结果数、单果质量、单株产量,其中单株产量=单果质量×结果数。

1.4 数据处理

数据采用 Microsoft Excel 2019 和 SPSS 23.0 软件统计、绘图和分析,采用 Duncan 法进行数据差异性检验。

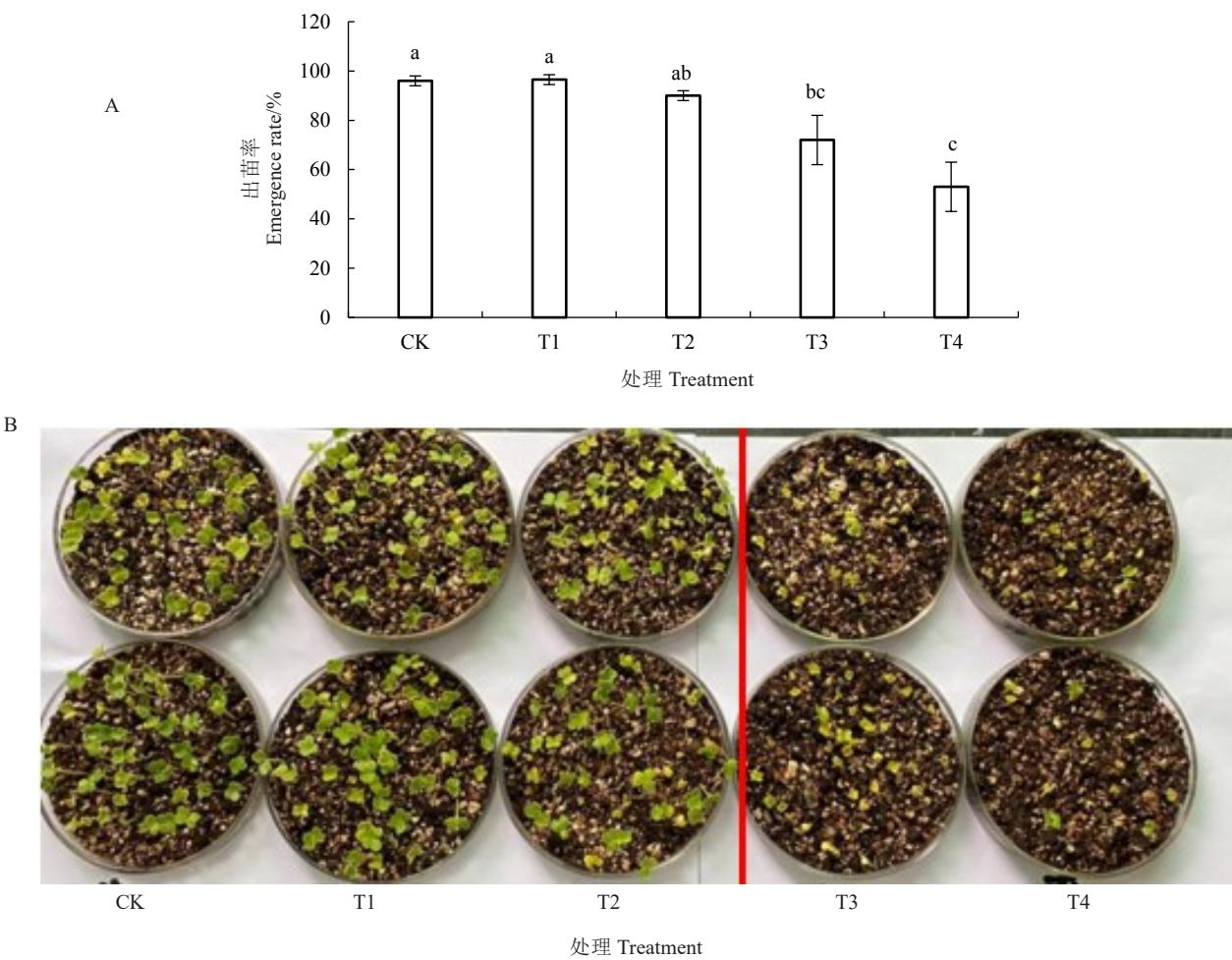
2 结果与分析

2.1 以羽毛、菌渣联合发酵物为主的基质对上海青出苗率的影响

由图 1 可知,与草炭基质(CK)相比,用 25%、50%、75%和 100%的羽毛、菌渣联合发酵物替代草炭,上海青的种子出苗率随羽毛、菌渣联合发酵物的替代量增加呈降低趋势。当羽毛、菌渣联合发酵物的替代量为 50%时(T2),上海青的种子出苗率为 90%,有下降趋势,但与 CK 间差异不显著,而当羽毛、菌渣联合发酵物的替代量为 75%时(T3),上海青的种子出苗率仅为 72%,呈明显下降趋势,较 CK 显著降低 44.79%,说明羽毛、菌渣联合发酵物作为种苗培育基质替代草炭时,替代量不宜超过 50%,否则会影响种子的出苗。

2.2 以羽毛、菌渣联合发酵物为主的基质基本理化性质

根据 2.1 的试验结果,初步筛选出羽毛、菌渣联合发酵物的适宜替代量为 25%和 50%。由表 3 可知,用羽毛、菌渣联合发酵物去替代部分草炭,基质的总孔隙度、通气孔隙度和持水孔隙度与草炭基质(CK)无显著差异,但 pH 值、EC 值、容重则随羽毛、菌渣联合发酵物的替代量增加而增大,且均显著高于 CK。当羽毛、菌渣联合发酵物的替代量为 50%时(D2),基质 pH 值、EC 值、容重分别较 CK 显著增



注:A 中不同小写字母表示各处理在 0.05 水平差异显著。下同。
Note: Different lowercase letters in figure A significant differences between treatments at the 0.05 level. The same below.
图 1 不同比例羽毛、菌渣联合发酵物替代下的上海青出苗率(A)和出苗情况(B)
Fig. 1 Seedling emergence rate (A) and emergence situation (B) of Shanghai green under different proportions of feather, mushroom residue combined with fermentation

表 3 基质理化性质
Table 3 Physical and chemical properties of the matrix

处理 Treatment	总孔隙度 Total porosity/%	通气孔隙度 Ventilation porosity/%	持水孔隙度 Water-holding porosity/%	pH	EC/ (mS·cm ⁻¹)	容重 Volume-weight/(g·cm ⁻³)
CK	65.44±2.34 a	6.71±2.89 a	58.73±0.97 a	6.34±0.10 b	1.05±0.02 c	0.25±0.00 c
D1	63.74±0.57 a	5.01±0.57 a	58.73±0.26 a	6.79±0.03 a	1.46±0.07 b	0.27±0.00 b
D2	63.25±0.28 a	4.99±0.82 a	58.26±0.54 a	6.94±0.03 a	2.17±0.03 a	0.30±0.00 a

注:同列不同小写字母表示各处理间差异显著($p<0.05$)。下同。
Note: Different lowercase letters after the same column indicate significant differences between treatment ($p<0.05$), the same below.

加 9.46%、106.67%和 20.00%,说明用羽毛、菌渣联合发酵物去替代草炭会显著提高基质的 pH、EC 和容重。
2.3 以羽毛、菌渣联合发酵物为主的基质对番茄、辣椒出苗率的影响

由图 2 可知,当羽毛、菌渣联合发酵物的替代量为 25%时(D1),番茄种子出苗率为 79.5%,显著高于 CK,而当羽毛、菌渣联合发酵物的替代量为 50%时(D2),番茄种子的出苗率有下降趋势,但与 CK

差异不显著,变化趋势与上海青类似。对于辣椒种子来说,无论羽毛、菌渣联合发酵物的替代量为 25%或 50%,辣椒种子出苗率与 CK 均无显著差异,说明羽毛、菌渣联合发酵物作为种苗培育基质替代草炭时,替代量为 50%时不影响蔬菜种子的出苗。

2.4 以羽毛、菌渣联合发酵物为主的基质对辣椒生长发育的影响

由表 4 可知,与草炭基质(CK)相比,用羽毛、菌

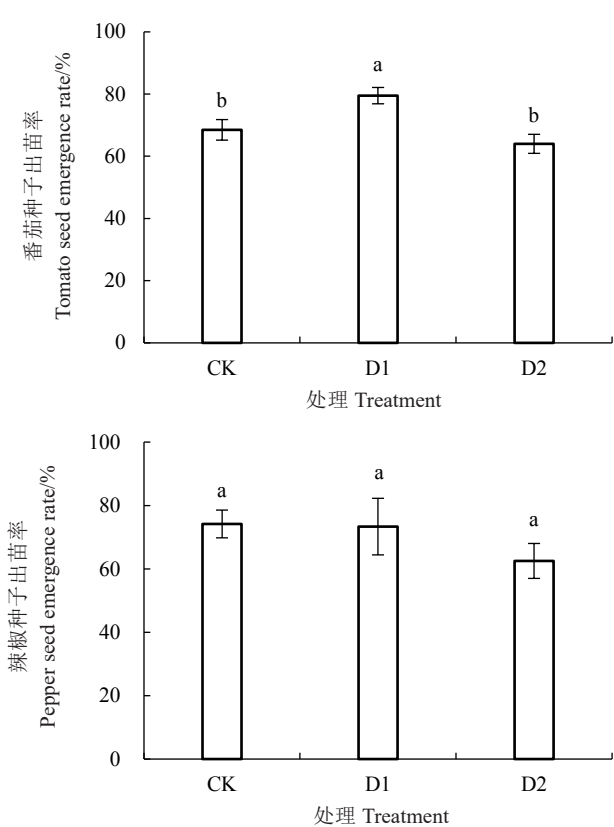


图2 不同比例羽毛、菌渣联合发酵物替代下的番茄、辣椒种子出苗率

Fig. 2 Seedling emergence rate of tomato and pepper seeds replaced by different proportions of feather, mushroom residue and fermentation

渣联合发酵物替代部分草炭,辣椒的株高、茎粗、叶长和叶面积均显著增加。当羽毛、菌渣联合发酵物替代量为 50%时,辣椒的株高、茎粗、叶长和叶面积分别较 CK 增加 12.66%、18.35%、16.89% 和 24.65%,均达到显著差异水平,但与 25%替代量间无显著差异,说明用羽毛、菌渣联合发酵物替代部分草炭能促进辣椒幼苗的生长,替代量可达 50%。

2.5 以羽毛、菌渣联合发酵物为主的基质对辣椒叶绿素含量及植株鲜干质量的影响

由图 3-A 可知,与草炭基质(CK)相比,用羽毛、菌渣联合发酵物替代部分草炭,辣椒的叶绿素含量显著增加。当羽毛、菌渣联合发酵物的替代量为 50%时,辣椒叶绿素含量(w,后同)达 $1.73\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$,较 CK 增加 63.33%,达到显著差异水平,但与 25%替代量间差异不显著,说明用羽毛、菌渣联合发酵物替代部分草炭能显著提高辣椒叶片的叶绿素含量,草炭替代量可达 50%。

由图 3-B 可知,与草炭基质(CK)相比,羽毛、菌渣联合发酵物的替代量为 50%时,辣椒植株的鲜质量增加 95.60%,达到显著差异水平,但与 25%替代量间无显著差异。辣椒植株干质量在不同栽培基质处理中差异不显著,说明用羽毛、菌渣联合发酵物替代部分草炭能显著提高辣椒植株的鲜质量,但对植株的干物质积累影响较小。

表 4 辣椒农艺性状

Table 4 Agronomic traits of pepper

处理 Treatment	株高 Plant height/cm	茎粗 Stem diameter/mm	叶长 Leaf length/cm	叶宽 Leaf width/cm	叶面积 Leaf area/cm ²
CK	14.46±0.23 b	2.67±0.04 b	9.53±0.12 b	5.50±0.22 a	52.49±2.53 b
D1	16.36±0.14 a	3.28±0.13 a	10.64±0.14 a	5.93±0.24 a	63.11±2.77 a
D2	16.29±0.15 a	3.16±0.08 a	11.14±0.24 a	5.86±0.14 a	65.43±2.82 a

2.6 以羽毛、菌渣联合发酵物为主的基质对辣椒单株产量的影响

由表 5 可知,与草炭基质(CK)相比,用羽毛、菌渣联合发酵物替代部分草炭,辣椒的单果质量、单株结果数和单株产量均显著增加。与 CK 相比,当羽毛、菌渣联合发酵物的替代量为 25%(D1)和 50%(D2)时,辣椒单果质量分别增加 33.23%和 36.33%,单株结果数分别增加 51.85%和 59.26%,单株产量分别增加 106.78%和 118.95%,且均与 CK 呈显著差异。50%替代量的单株结果数和单株产量较 25%替代量高,但未达到显著差异水平,说明用羽毛、菌渣联合发酵物替代部分草炭能显著增加辣椒的产

量,且草炭的替代量为 50%时,辣椒的增产效果更佳。

3 讨论与结论

3.1 以羽毛、菌渣联合发酵物为主的基质对种子出苗率的影响

菌渣因含有较高的有机质及氮、磷、钾等营养物质,作为草炭的替代物具有较大的竞争力和优势^[23],但菌渣的理化性质不稳定,pH、EC值过高,直接使用不利于幼苗生长^[24],需要探究其最适替代量。于丽双^[25]研究表明,水稻育苗基质中添加 50%的菇渣有利于水稻生长。姜熠等^[22]研究认为,菌渣与园

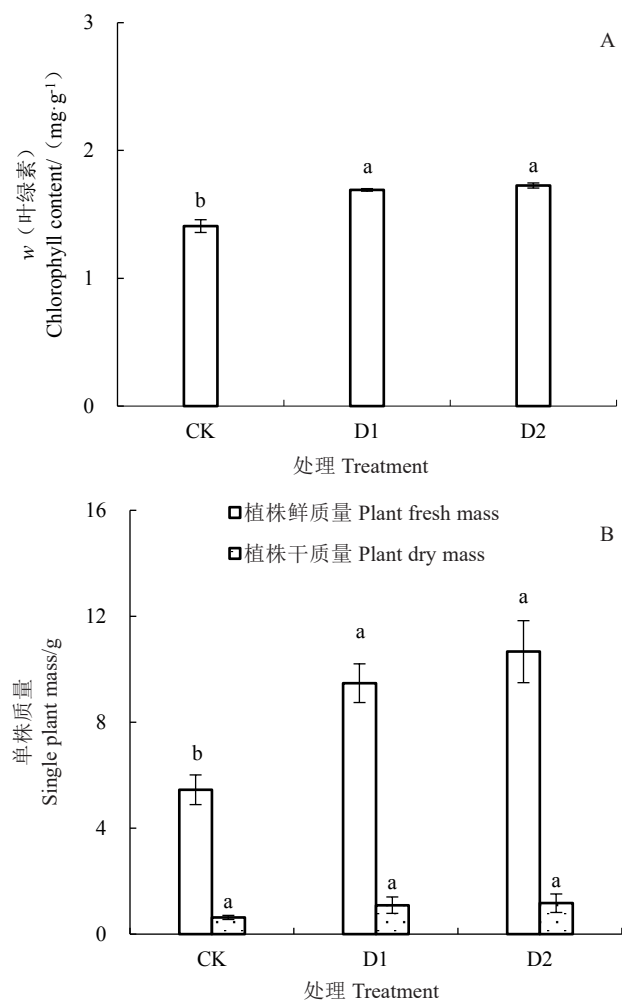


图 3 不同比例羽毛、菌渣联合发酵物替代下的辣椒叶绿素含量(A)及植株鲜干质量(B)

Fig.3 Chlorophyll content(A)and fresh and dry weight (B)of pepper under different proportions of feather, mushroom residue and combined fermentation

表 5 辣椒单株产量

Table 5 Yield per pepper plant

处理 Treatment	单果质量 Single fruit mass/g	单株结果数 Fruiting number	单株产量 Yield per plant/g
CK	15.47±0.50 b	27±0.51 b	410.57±8.39 b
D1	20.61±0.35 a	41±0.73 a	848.99±19.39 a
D2	21.09±0.40 a	43±0.51 a	898.96±26.23 a

土体积比达 1:2 时,草莓幼苗生长良好,而两者配比达 2:1 时,草莓各生长指标呈明显下降趋势。本研究结果表明,上海青、番茄和辣椒种子出苗率随羽毛、菌渣联合发酵物替代量的增加而降低。当羽毛、菌渣联合发酵物的替代量为 50%时,种子出苗率与 CK 无显著差异,而当替代量为 75%时,种子出苗率显著低于 CK,这与吴松展等^[26]的研究结果一致。这可能是因为菌渣的电导率较高,有机碳含

量及容重较低,大量添加菌渣降低了基质的总孔隙度、通气孔隙度,增加了基质 pH、EC 值,不利于种子萌发及幼苗根系生长^[27-28]。在本研究中,羽毛、菌渣联合发酵物的替代量为 50%时,基质的总孔隙度、通气孔隙度和持水孔隙度均与 CK 无显著差异,pH、EC 值显著高于 CK,但也在适宜的范围内,因此不影响蔬菜种子出苗。

3.2 以羽毛、菌渣联合发酵物为主的基质对辣椒生长发育的影响

作物的生长情况直接反映出基质的优劣^[29]。在本研究中,与草炭基质(CK)相比,用羽毛、菌渣联合发酵物替代部分草炭,辣椒的株高、茎粗、叶长、叶面积、叶绿素和植株鲜质量均显著增加,这与王雪东等^[29]的研究结果一致。菌渣持水性能优良、透气性好,并富含纤维素、木质素、维生素、矿质营养元素和其他生物活性物质,用在辣椒栽培中不仅能为辣椒根系提供良好的环境,而且能为辣椒持续生长提供所需的养分^[30]。羽毛中大量的角蛋白经微生物降解后能形成种类丰富的多肽和游离氨基酸,用在辣椒栽培中不仅能调节辣椒的生理功能、增强辣椒抗逆性和抗病性,还能直接给辣椒生长提供所需的有机氮源^[17]。在本研究中,羽毛、菌渣联合发酵物的替代量为 25%和 50%时,辣椒的株高、茎粗、叶长、叶宽、叶面积、叶绿素含量和植株鲜干质量差异不显著,这可能是因为用 25%和 50%的羽毛、菌渣联合发酵物替代部分草炭后配成的栽培基质理化性质差异较小。

3.3 以羽毛、菌渣联合发酵物为主的基质对辣椒单株产量的影响

果实产量和品质是衡量基质有效性的重要指标^[29]。王雪东^[29]、王涛等^[31]、李飘飘等^[32]的研究结果表明,栽培基质中添加适量菌渣能提高黄瓜、草莓的产量及品质。在本研究中,与草炭基质相比,用 25%、50%的羽毛、菌渣联合发酵物替代草炭,辣椒的单果质量、单株结果数和单株产量均显著高于草炭基质。吴培栋^[33]的研究表明,土壤中施用羽毛有机肥不仅能提高土壤养分含量和 pH,还能提高土壤水解氨基酸含量、土壤脲酶和土壤纤维素酶的活性,从而增加土壤微生物群落的丰度及多样性,最终实现生菜的增产,而菌渣的添加能增加基质的通气性,改善保水、保肥性能,显著提高基质的有机质、全氮、碱解氮、有效磷、速效钾含量,进而能改善辣椒的营养品质,提高辣椒的光合能力,从而促进辣椒增产^[10,23]。这可能是以羽毛、菌渣联合发酵物

为主的栽培基质能促进辣椒增产的重要原因。

综上所述,用发酵完全的羽毛、菌渣联合发酵物替代部分草炭能提高蔬菜栽培基质的pH值、EC值和容重,促进辣椒植株的生长,提高叶绿素含量和植株鲜质量,同时提高辣椒单果质量和单株产量,但用作种苗培育时,羽毛、菌渣联合发酵物的替代量应控制在50%以下,否则会影响蔬菜种子出苗。

参考文献

- [1] 中国蔬菜协会.科技赋能,提质增效,中国蔬菜产业启新篇[DB/OL].[2023-11-15].<http://www.zgscxh.cn/plus/view.php?aid=693>.
- [2] 李笑眉,邓利园.浅谈我国无土栽培智能化应用现状[J].现代园艺,2021,44(5):46-47.
- [3] 翟挺楷,储玉凡,林碧英,等.食用菌菌渣在蔬菜基质化利用中的研究进展[J].中国蔬菜,2023(3):29-36.
- [4] 陈国,胡圣满,傅克兰,等.南方沼肥无土设施栽培研究续报:沼肥基质与施肥配方对蔬菜产量和品质的影响[J].中国沼气,2005,23(4):34-35.
- [5] 安文杰.无土栽培不同基质对小白菜生长发育的影响[J].现代农业科学,2009,16(11):45-46.
- [6] 钱佳宇,林永锋,杨玉梅,等.基质中不同厨余废弃物配比对理化性质及蔬菜生长的影响[J].南方农业,2022,16(5):29-35.
- [7] 须文,岑聪,徐彦军.不同基质配方对蔬菜种子萌发及幼苗生长的影响[J].江苏农业科学,2020,48(9):127-131.
- [8] 高婷,沙毓沧,陆琳,等.不同基质对比对白菜幼苗生长的影响[J].北方园艺,2021(7):33-37.
- [9] 李蒙,李亚琼,李亮杰,等.蔗糠灰不同配比的草炭基质特性及其对甜瓜生长生理及产量的影响[J].江苏农业科学,2022,50(4):84-92.
- [10] 张永军.菇渣、稻壳炭在茄果类蔬菜育苗基质中的应用研究[D].合肥:安徽农业大学,2019.
- [11] 张黎杰,周玲玲,田福发,等.日光温室西葫芦菌渣复合基质栽培技术[J].中国瓜菜,2018,31(3):56-57.
- [12] 姚利,辛淑荣,赵自超.畜禽粪便基质化利用典型技术模式研究进展[J].中国农学通报,2021,37(1):90-93.
- [13] 李恭峰,高亚新,马万成,等.不同基质对比对水果辣椒生长、品质及内源激素的影响[J].中国瓜菜,2022,35(10):53-57.
- [14] 陈亮,张想平,张肖凌,等.戈壁日光温室西瓜药渣复合基质栽培技术[J].中国瓜菜,2019,32(9):85-87.
- [15] 何福多,原一帆,周小厚,等.湿法磷酸原位酸解废弃羽毛制备含氨基酸磷酸一铵[J].无机盐工业,2023,55(10):100-105.
- [16] LAKSHMI P J, CHITTURI C M K, LAKSHMI V V. Efficient degradation of feather by keratinase producing *Bacillus* sp.[J]. International Journal of Microbiology, 2013(2):608321.
- [17] 李成江,谢小林,周莲,等.羽毛酶解氨基酸肥对小麦根系形态及抗性酶活的影响[J].中国土壤与肥料,2022(9):127-132.
- [18] 郭远,宋爽,高琪,等.食用菌菌渣资源化利用进展[J].食用菌学报,2022,29(2):103-114.
- [19] 柳嘉怡,卜宪娜.霍格兰(Hoagland)溶液对小麦种苗生长的影响[J].现代农业科技,2020(1):9-10.
- [20] 谢小林,朱红惠,姚青,等.一种利用微生物发酵食用菌渣和家禽羽毛生产有机肥的方法:CN103804038A[P].2014-05-21.
- [21] 努尔凯麦尔·木拉提,杨亚杰,帕尔哈提·阿布都克日木,等.小麦叶绿素含量测定方法比较[J].江苏农业科学,2021,49(9):156-159.
- [22] 姜熠,张文娥,马红叶,等.废菌渣对比对盆栽草莓幼苗生长及果实品质的影响[J].北方园艺,2022(21):23-30.
- [23] 熊维全,万群,曾先富.食用菌菌渣对辣椒种子萌发及幼苗生长的影响[J].中国园艺文摘,2011,27(10):15-16.
- [24] 王本明,王丽杰,于田利.菇渣基质化利用及电导率、酸碱度有机调控技术研究[J].农业科技通讯,2018(9):211-216.
- [25] 于丽双.利用菇渣制作有机水稻育苗基质的研究[D].沈阳:沈阳农业大学,2018.
- [26] 吴松展,刘景坤,程汉亨,等.菌渣在烟草育苗中的应用效果分析[J].热带作物学报,2019,40(9):1838-1846.
- [27] DEENIK J L, MCCLELLAN T, UEHARA G, et al. Charcoal volatile matter content influences plant growth and soil nitrogen transformations[J]. Soil Science Society of America Journal, 2010,74(4):1259-1270.
- [28] FAN R, LUO J, YAN S, et al. Effects of biochar and super absorbent polymer on substrate properties and water spinach growth[J]. Pedosphere, 2015,25(5):737-748.
- [29] 王雪东,李洪卓,刘嘉锐,等.大球盖菇菌渣基质化利用及栽培黄瓜效果比较[J].北方园艺,2022(12):1-7.
- [30] 梁吉义.利用农作物秸秆开发食用菌产业发展生态循环农业[J].科学种养,2021(1):60-62.
- [31] 王涛,雷锦桂,陈永快,等.海鲜菇渣复合基质对黄瓜生长、果实品质和产量的影响[J].热带作物学报,2019,40(1):32-38.
- [32] 李飘飘,王秀峰,韩宇睿,等.菇渣水苔复合基质对草莓生长、产量及品质的影响[J].山东农业科学,2014,46(11):85-87.
- [33] 吴培栋.羽毛有机肥提高园艺土壤肥力的氨基酸和微生物机制[D].广州:华南农业大学,2019.