吴奕琪,张韦柏,张婉雪,等.蚯蚓粪与椰糠混合基质对黄瓜育苗性能的评价[J].山西农业大学学报(自然科学版),2025,45(2):80-89.
Wu Y Q, Zhang W B, Zhang W X, et al.Evaluation of cucumber seedling performance in mixed substrates of vermicompost and coconut coir[J].Journal of Shanxi Agricultural University(Natural Science Edition), 2025,45(2):80-89.
doi: 10.13842/j.cnki.issn1671-8151.202408008

蚯蚓粪与椰糠混合基质对黄瓜育苗性能的评价

吴奕琪[1,2],张韦柏[3],张琬雪[1,2],刘铮[4],池华聚[5],杨文佳[1*],刘欣宇[4,6*]

(1.中国农业大学 有机循环研究院(苏州),江苏 苏州,215100;2.中国农业大学 资源与环境学院,北京,100083;
3.西南财经大学 经济学院,四川 成都,611130;4.辽宁省农业科学院 农村经济研究所,辽宁 沈阳,110161;
5.新疆理工学院"两山"理论与南疆高质量绿色发展研究中心,新疆 阿克苏,843100;
6.苏州市上辽现代农业发展有限公司,江苏 苏州,215335)

摘　要:[目的]良好的育苗基质对于秧苗质量具有重要的意义,椰糠由于其出色的物理性质在育苗基质的生产中被广泛应用,但椰糠自身养分较难满足作物幼苗生长需求,往往需要利用外源物质对其进行养分补充。蚯蚓粪蕴含充足的养分,而且具备丰富的毛细结构及良好的透气保水性,探索椰糠复配蚯蚓粪所形成的基质对黄瓜的育苗效果,有助于提升椰糠在育苗基质中的应用程度。[方法]将蚯蚓粪与椰糠按照不同的体积梯度配制育苗基质,分别设计100%椰糠(CK)、20%蚯蚓粪+80%椰糠(T1)、40%蚯蚓粪+60%椰糠(T2)、60%蚯蚓粪+40%椰糠(T3)、80%蚯蚓粪+20%椰糠(T4)和100%蚯蚓粪(T5)6个处理。通过分析各个处理对种子的萌发和幼苗生长情况的影响,并结合育苗基质的理化性质,综合判断蚯蚓粪与椰糠的最佳配比。[结果]T1~T5处理的种子根长和发芽指数均显著低于CK,但在添加蚯蚓粪的各处理组中,以T3的种子根长和发芽指数最高,而T1的最低。育苗基质的容重随着蚯蚓粪比例的增加而显著提升,T5处理的容重相较CK提高了4.5倍。同时,T1~T5处理的总孔隙度和通气孔隙度相对于CK处理显著下降,而持水孔隙度在蚯蚓粪高添加比例下有所上升。蚯蚓粪的添加显著增加了基质中速效养分的含量,T5处理的有效磷和速效钾含量显著高于CK处理,而有机质含量则随蚯蚓粪比例上升而降低。黄瓜幼苗的氮、磷、钾吸收量随蚯蚓粪比例增加而上升,以T5处理的养分吸收量最高。当蚯蚓粪体积占比达60%及以上时,幼苗的茎粗、叶面积、叶绿素含量和地上部鲜重均保持在较高水平。[结论]蚯蚓粪作为养分补充剂在椰糠基质中的应用明显提高了育苗效果。当蚯蚓粪体积占比在40%~80%时,可实现黄瓜幼苗良好的生长效果,且添加80%蚯蚓粪的T4处理促进效果最佳。

关键词:蚯蚓粪; 椰糠; 黄瓜; 种子萌发; 幼苗生长
中图分类号:S476　　**文献标识码:**A　　**文章编号:**1671-8151(2025)02-0080-10

Evaluation of cucumber seedling performance in mixed substrates of vermicompost and coconut coir

Wu Yiqi[1,2], Zhang Weibo[3], Zhang Wanxue[1,2], Liu Zheng[4], Chi Huaju[5], Yang Wenjia[1*], Liu Xinyu[4,6*]

(*1.Organic Recycling Research Institute (Suzhou) of China Agricultural University, Suzhou 215100, China; 2.College of Resources and Environmental Sciences, China Agricultural University, Beijing 100083, China; 3.College of Economics, Southwestern University of Finance and Economics, Chengdu 611130, China; 4.Institute of Rural Economics, Liaoning Academy of Agricultural Sciences, Shenyang 110161, China; 5.College of Economics and Management, Xinjiang Institute of Technolo-*

收稿日期:2024-08-06　　**修回日期:**2025-01-13
基金项目:国家自然科学基金面上项目(32071552);住房和城乡建设部科技示范项目(S20220395);江苏省碳达峰碳中和科技创新专项(BM2022006);新疆维吾尔自治区高校科研基本业务费科研项目(XJEDU2024J135)
作者简介:吴奕琪(ORCID:0009-0008-5071-3953),硕士研究生,研究方向:有机废弃物资源化利用,E-mail:1741279143@qq.com
*通信作者:杨文佳(ORCID:0009-0003-3470-679X),硕士,农艺师,研究方向:有机废弃物资源化利用,E-mail:yangwenjia@oricau.cn;
刘欣宇(ORCID:0009-0006-8032-5404),硕士,助理研究员,研究方向:有机废弃物资源化利用,E-mail:liuxinyu@slass.cn

gy, Aksu 843100, China; 6.Shangliao Modern Agricultural Development Co., Ltd., Suzhou 215335, China)

Abstract: [Objective] A high-quality seedling substrate is essential for seedling quality and crop yield. Coconut coir is widely used in seedling substrate production due to its excellent physical properties. However, coconut coir alone often lacks sufficient nutrients to meet the growth requirements of crop seedlings, necessitating the supplementation of external nutrient sources. Vermicompost is rich in nutrients and possesses a well-developed capillary structures, along with good aeration and water retention properties. This study aimed to enhance the application of coconut coir in seedling substrates by investigating the effects of a mixed substrate of vermicompost and coir on cucumber seedling growth. [Methods] Vermicompost and coconut coir were mixed at different volume ratios to prepare seedling substrates. Six treatments were designed: 100% coir (CK), 20% vermicompost +80% coir (T1), 40% vermicompost +60% coir (T2), 60% vermicompost +40% coir (T3), 80% vermicompost +20% coir (T4), and 100% vermicompost (T5). The effects of each treatment on seed germination and seedling growth were analyzed, and the physicochemical properties of the substrates were evaluated to determine the optimal ratio of vermicompost and coconut coir. [Results] As the volume of vermicompost increased, the root length and germination index of seeds in T1~T5 treatments were significantly lower than those in CK. Among the vermicompost-added treatments, T3 showed the highest root length and germination index, while T1 showed the lowest. The bulk density of the substrate increased significantly with the proportion of vermicompost ratios, with T5 showing a 4.5-fold increase compared to CK. Meanwhile, the total porosity and aeration porosity of T1~T5 decreased significantly relative to CK, while the water-holding porosity increased with higher vermicompost ratios. The addition of vermicompost significantly increased the content of available nutrients in the substrate. The available phosphorus and potassium levels in T5 were significantly higher than in CK, while the organic matter content decreased with increasing vermicompost proportions. The nitrogen, phosphorus, and potassium uptake of cucumber seedlings increased with the proportion of vermicompost, with T5 showing the highest nutrient uptake. When the vermicompost volume ratio reached 60% or higher, seedling stem diameter, leaf area, chlorophyll content, and above-ground fresh weight of cucumber seedlings remained at relatively high levels. [Conclusion] The application of vermicompost as a nutrient supplement in coconut coir substrates significantly improved seedling performance. A vermicompost volume ratio of 40%~80% achieved favorable , growth effects for cucumber seedlings, with the T4 treatment (80% vermicompost) demonstrating the best overall promotion effects.

Keywords: Vermicompost , Coconut coir, Cucumber, Seed germination, Seedling growth

在现代农业生产中,育苗基质发挥着至关重要的作用[1]。优质的育苗基质不仅能够显著提升作物秧苗的质量,还对作物产量和果实品质具有显著的促进作用[2]。随着农业机械化的普及,育苗基质的应用也有助于提高播种和移栽的效率,从而有效降低农业生产成本[3]。因此,育苗基质的研发与优化日益受到农业从业人员的关注。在众多育苗基质配方中,泥炭因其优良的理化特性而长期作为主要原料[4]。然而,泥炭作为不可再生资源,过度开采将对生态环境造成严重破坏[5]。为此,许多研究者投入了大量精力,致力于寻找可替代泥炭的原材料,以满足育苗基质的可持续需求[6]。当前,关于秸秆堆肥[7]、畜禽粪便堆肥[8-10]及生活垃圾堆肥[11]等作为泥炭替代材料的研究日益增多,其中尤以椰糠的应用备受研究人员青睐[12]。椰糠作为育苗基质原料具有显著的优势,是一种性能优良且环保的选择。首先,椰糠来源于椰子壳纤维的副产品,资源丰富且可再生,符合可持续发展的要求。在物理性质方面,椰糠具备良好的透气性和持水性,能够为育苗提供理想的水分和氧气环境,有助于种子发芽和幼苗生长。同时,其质地轻盈,密度较小,便于运输和操作,特别适合规模化育苗生产。此外,椰糠的pH值通常在5.5至6.5之间,适合大多数植物的生长需求,无需额外调节酸碱度。椰糠还具有良好的吸水和保肥能力,能够迅速吸收水分并缓慢释放,同时为植物提供持续的养分供应。已有研究发现,在国内相关蔬菜育苗基质的专利中,椰糠正逐渐成为主要原料之一[13]。

然而,将椰糠应用于育苗基质的过程中也存在一定的局限。椰糠含有较高的盐分[14],在使用前通常需经大量清水冲洗以降低盐分,而这一过程往往导致部分养分流失。如果大量使用此类椰糠直接代替泥炭,可能对种子萌发及幼苗生长产生不利影响。因此,对椰糠进行适当的养分补充在育苗基质的配制中显得尤为重要。相较于化学

肥料,有机肥具备有机质含量高、肥效缓释、绿色环保等优势,适合作为椰糠的养分补充来源[15]。在先前的研究过程中,我们发现添加适量的猪粪有机肥对于椰糠基质的育苗效果有较好的提升[16]。通过进一步的研究论证,我们发现相对于猪粪有机肥而言,蚯蚓粪不仅富含养分,还具有丰富的毛细结构及良好的透气保水性,这些特点对作物的生长起到了显著的促进作用[17]。基于此,用蚯蚓粪对椰糠进行养分补充具备较高的可行性。目前已有部分研究将蚯蚓粪直接作为泥炭替代材料[18],但从养分补充的角度研究蚯蚓粪在基质中的应用效果则较为少见。因此,本研究从种子萌发、幼苗生长及基质理化性质3个方面,具体分析蚯蚓粪作为椰糠的养分补充对育苗效果的影响,旨在为椰糠高效替代泥炭作为育苗基质的应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试蚯蚓粪购自山西省太原市某蚯蚓养殖场,蚯蚓品种为赤子爱胜蚓。供试椰糠购自厦门仙兔园艺科技有限公司。供试黄瓜品种为'申青一号',发芽率测定值为100.00%。供试原料理化性质详见表1。

1.2 试验设计

以20%体积份数为梯度设计6个处理,分别为100%椰糠(CK)、80%椰糠+20%蚯蚓粪(T1)、60%椰糠+40%蚯蚓粪(T2)、40%椰糠+60%蚯蚓粪(T3)、20%椰糠+80%蚯蚓粪(T4)、100%蚯蚓粪(T5)。按上述处理将椰糠与蚯蚓粪混合均匀后制备10 L的育苗基质,利用四分法对各个处理的育苗基质进行采样,4 ℃下保存备用。

1.3 育苗基质理化性质测定

参照农业行业标准NY/T 2118-2012中的方法[19],利用环刀法对育苗基质的容重、持水孔隙度、通气孔隙度和总孔隙度进行测定,同时根据通气孔隙度与持水孔隙度的比值计算气水比。参考鲍士旦[20]的方法测定不同处理育苗基质的化学性质,用碱解扩散法测定水解氮含量,用钼锑抗分光光度法测定有效磷含量,用火焰光度法测定速效钾含量,用重铬酸钾容量法测定有机质含量。育苗基质的pH和电导率(EC)则均通过电极法测定。

1.4 植株播种与管理

利用50穴育苗穴盘进行育苗,每处理设置3次重复,每穴盘为1次重复。每穴1粒黄瓜种子,播种于距离基质表层0.5 cm处。各处理统一进行浇水,每育苗穴盘浇水1.6 L,置于人工气候室中,25 ℃、80%湿度、光暗比16∶8条件下培养10 d。试验期间每穴盘24 h补充清水500 mL,取样前24 h停止浇水,保持基质相对干燥以便取样。

1.5 育苗基质种子萌发效果测定

参照农业行业标准NY/T 525-2021中规定的方法[21],并结合王国英等[22]的研究结果,采用萝卜种子对各处理育苗基质的发芽指数(Germination Index,GI)进行测定。取各处理育苗基质浸提液10 mL注入铺有单层9 cm滤纸的培养皿中,以蒸馏水为对照(CK_w)。每培养皿中置入10粒种子,置于25 ℃的恒温培养箱中避光培养48 h。培养结束后测定发芽率、总根长和种子根鲜重,利用发芽率和总根长计算发芽指数,计算公式如下:

$$\text{发芽指数(GI)}=\frac{\text{处理组发芽率}\times\text{处理组总根长}}{\text{对照组发芽率}\times\text{对照组总根长}}\times 100\% \quad (1)$$

1.6 植株幼苗生长指标测定

播种10 d后,每穴盘随机选取15株黄瓜幼苗,抖落掉大块基质后用毛刷收集幼苗根系基质,风干后4 ℃保存备用。用钢直尺测定幼苗株高,通过电子数显游标卡尺测定幼苗茎粗。采用SPAD叶

表1 供试原料的理化性质

Table 1 Physical and chemical properties of the test material

供试材料 Test material	容重/(g/cm^3) Bulk density	pH	EC/(μS/cm)	碱解氮/(mg/kg) Alkaline nitrogen	有效磷/(mg/kg) Available phosphorus	速效钾/(mg/kg) Available potassium	有机质/% Organic matter
蚯蚓粪 Wormcast	0.60	7.95	421.33	99.16	625.66	2 268.32	11.88
椰糠 Cocopeat	0.11	6.90	652.00	101.68	54.74	22.42	62.21

绿素含量测定仪对黄瓜幼苗叶绿素含量进行测定,黄瓜幼苗的总根长、总根面积和总根尖数通过根系扫描仪进行测定。用电子天平对黄瓜幼苗的地上部鲜重和根鲜重进行测定,随后通过烘干法测定地上部干重和根干重。统计黄瓜幼苗的株高、茎粗和干重后,计算各个处理的壮苗指数[23],计算公式如下:

$$\text{壮苗指数}=\left(\frac{\text{茎粗}}{\text{株高}}+\frac{\text{根干重}}{\text{地上部干重}}\right)\times(\text{地上部干重}+\text{根干重}) \quad (2)$$

1.7　植株幼苗养分吸收分配量测定

将烘干后的各个处理的植株幼苗利用球磨仪研磨后保存于4 ℃冰箱待测。分别利用凯氏定氮法、钼锑抗分光光度法和火焰光度法测定植株幼苗中的全氮、全磷和全钾含量[20]。

1.8　数据处理

利用Excel 2019软件进行原始数据的记录,通过DPS 18.1软件中的邓肯新复极差法进行单因素方差分析[24],利用Origin 2021 Pro软件完成图片的绘制。

2　结果与分析

2.1　不同蚯蚓粪添加比例对育苗基质物理性质的影响

不同处理育苗基质的物理性质如表2所示,可见随着蚯蚓粪体积占比的不断提升,T1至T5处理的容重呈现明显的增加趋势,5个处理间差异显著,且蚯蚓粪体积占比越高容重越大。相对于CK处理,T5处理的容重增加了4.5倍。随着蚯蚓粪占比增加,育苗基质的持水孔隙度呈逐渐增加的趋势,而通气孔隙度和总孔隙度均呈现下降趋势。在持水孔隙度方面,T5处理相对于CK处理的持水孔隙度显著增加了6.37%,但各处理间差异较小,T1~T5处理间持水孔隙度差异不显著。在通气孔隙度方面,T5处理相对于CK处理下降了80.68%,显著低于T1、T2和T3处理。总孔隙度主要受到通气孔隙度影响,T5处理相对于CK处理下降18.94%,并显著低于T1、T2和T3处理。

2.2　不同蚯蚓粪添加比例对育苗基质化学性质的影响

如表3所示,蚯蚓粪的添加对于育苗基质的化学性质有着较为明显的影响。育苗基质的pH和速效养分含量均随着蚯蚓粪添加比例上升而呈现增加趋势,而EC和有机质含量则呈现下降趋势。其中T5处理的pH相对于CK上涨了15.22%,碱解氮、有效磷和速效钾含量相对于CK分别上升了10.55%、1 042.97%和10 018.89%。T5处理的EC值相对于CK下降了35.38%,有机质含量相对于CK下降了80.90%。

表2　不同处理育苗基质的物理性质

Table 2　Physical properties of seedling substrates in different treatments

处理 Treatments	容重/(g/cm³) Bulk density	持水孔隙度/% Water−holding porosity	通气孔隙度/% Aeration porosity	总孔隙度/% Total porosity	气水比/% Air−water ratio
CK	0.11±0.00f	54.29±0.91c	26.97±0.22a	81.26±0.71a	0.50±0.01a
T1	0.27±0.00e	56.44±0.28bc	18.34±0.90b	74.79±1.05b	0.33±0.02b
T2	0.32±0.00d	59.73±0.91ab	13.08±1.59c	72.81±1.82bc	0.22±0.03c
T3	0.41±0.00c	59.26±0.45ab	10.49±0.94cd	69.75±0.60c	0.18±0.02cd
T4	0.55±0.00b	57.48±1.78abc	7.64±1.37de	65.13±0.93d	0.14±0.03de
T5	0.60±0.01a	60.66±1.11a	5.21±1.07e	65.87±0.56d	0.09±0.02e

注:同一列不同小写字母代表差异显著($P<0.05$)。

Note:Different lowercase letters in the same column represent significant differences ($P<0.05$).

2.3　椰糠中添加蚯蚓粪对黄瓜种子萌发的影响

从表4可见,在发芽率方面,添加蚯蚓粪比例不同对黄瓜种子萌发率没有影响,各处理均为100.00%。T1~T5处理的种子根长和发芽指数显著低于CK($P<0.05$)。随着蚯蚓粪在基质中占比的增加,种子根长和发芽指数呈先增加后下降趋势,在各处理中,T3处理的种子根长和发芽指数最高,T1处理的种子根长和发芽指数最低。T3处理的种子根长相对于CK下降了20.83%,相对于T1处理增加了18.01%。T3处理的发芽指数相对

表3 不同处理育苗基质的化学性质

Table 3 Chemical properties of seedling substrates in different treatments

处理 Treatments	pH	EC/(μS/cm¹)	碱解氮/(mg/kg) Alkaline nitrogen	有效磷/(mg/kg) Available phosphorus	速效钾/(mg/kg) Available potassium	有机质/% Organic matter
CK	6.90±0.02d	652.00±9.28a	91.98±0.29d	54.74±3.75f	22.42±39.39e	62.21±1.45a
T1	7.49±0.01c	635.00±2.17b	97.57±0.06c	384.11±0.76e	1 318.08±7.95d	33.17±0.29b
T2	7.75±0.04b	578.67±1.09c	100.79±0.07b	573.56±0.97d	2 063.35±10.13c	16.47±0.37c
T3	7.77±0.09ab	532.00±1.97d	100.62±0.07b	563.49±0.87c	2 023.74±9.17c	17.36±0.34c
T4	7.84±0.06ab	515.00±2.74e	101.29±0.09a	602.83±1.23b	2 178.48±12.93b	13.89±0.48d
T5	7.95±0.05a	421.33±2.02f	101.68±0.11a	625.66±1.44a	2 268.32±15.11a	11.88±0.56d

注:同一列不同小写字母代表差异显著($P<0.05$)。

Note:Different lowercase letters in the same column represent significant differences ($P<0.05$).

表4 不同处理育苗基质的种子萌发情况

Table 4 Seed growth in different treatments of seedling substrates

处理 Treatments	发芽率/% Germination rate	根长/cm Root length	发芽指数/% GI
CK_w	100.00±0.00a	36.98±0.21a	—
CK	100.00±0.00a	39.31±1.52a	1.07±0.05a
T1	100.00±0.00a	26.37±0.38c	0.71±0.01c
T2	100.00±0.00a	27.39±0.40c	0.74±0.01c
T3	100.00±0.00a	31.12±0.47b	0.84±0.01b
T4	100.00±0.00a	28.42±0.99c	0.77±0.03bc
T5	100.00±0.00a	27.75±0.39c	0.75±0.01bc

注:同一列不同小写字母代表差异显著($P<0.05$)。

Note:Different lowercase letters in the same column represent significant differences ($P<0.05$).

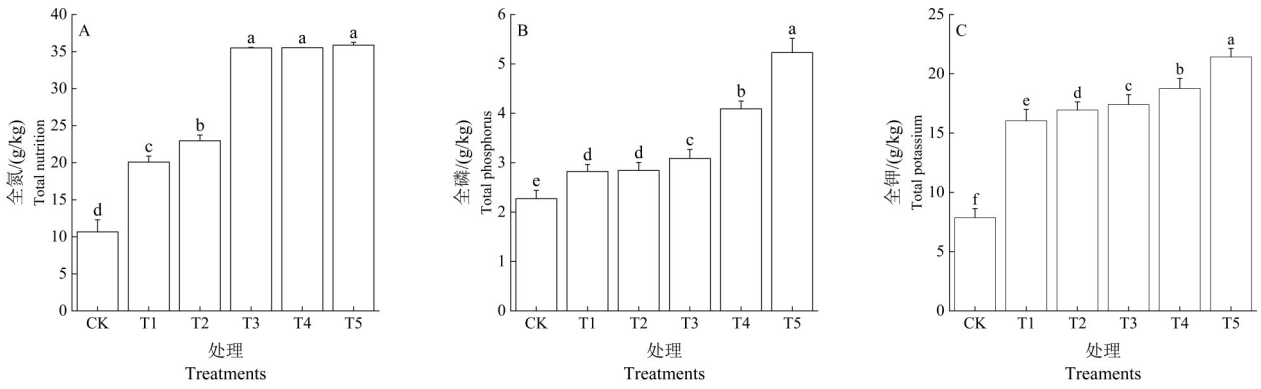
于CK下降了21.50%,相对于T1处理增加了18.31%。

2.4 椰糠添加蚯蚓粪对黄瓜幼苗养分吸收的影响

植株对养分的吸收状况同样能够反映育苗基质对幼苗的促生效果。随着蚯蚓粪添加比例上升,黄瓜幼苗对氮磷钾的吸收均呈现了较为明显的上升趋势,T5处理的全氮、全磷、全钾含量均显著高于T2、T1与CK的,且该处理的植株养分含量最高。在植株氮磷钾含量方面,T5处理相对于CK处理分别提升了大约2.4倍、1.3倍和2.1倍(图1)。

2.5 椰糠添加蚯蚓粪对黄瓜幼苗生长的影响

由图2可以看出,蚯蚓粪的添加对于黄瓜幼苗的株高影响不明显,各处理均差异不显著(图2A)。但对于其它的地上部指标而言,蚯蚓粪的添加则起到了明显的促进效果。其中,当蚯蚓粪体积占比为60%及以上时,黄瓜幼苗的茎粗、叶面积、叶绿素含量和地上部鲜重相对较高,均显著高于CK,且T3~T5处理之间无显著差异,4项

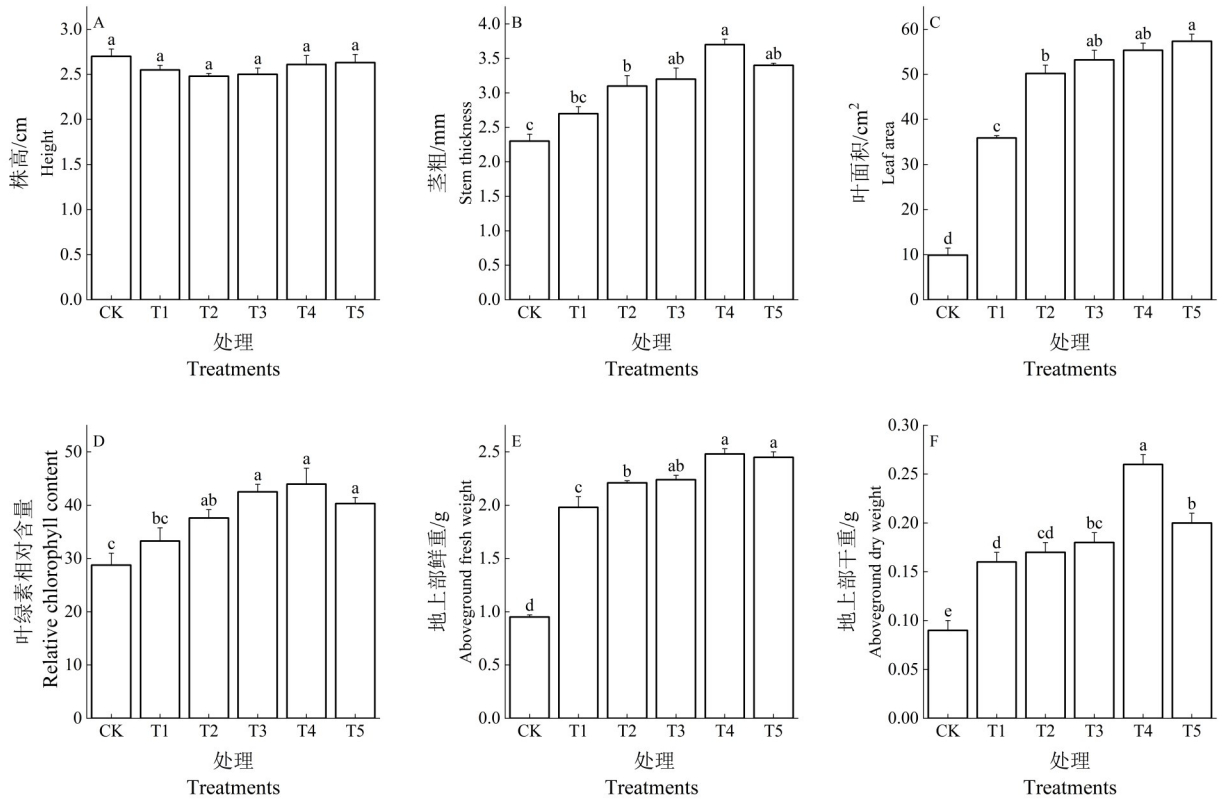


不同小写字母代表显著性差异($P<0.05$)

Different lowercase letters represent significant differences ($P<0.05$)

图1 椰糠添加蚯蚓粪对黄瓜幼苗养分吸收的影响

Fig.1 Effect of addition of wormcast to cocopeat on aboveground growth of cucumber seedlings



不同小写字母代表差异显著($P<0.05$)

Different lowercase letters represent significant differences ($P<0.05$)

图2　椰糠添加蚯蚓粪对黄瓜幼苗地上部生长的影响

Fig.2　Effect of addition of wormcast to cocopeat on aboveground growth of cucumber seedlings

指标相对于CK处理分别最多提高了61.43%、706.55%、57.86%和173.63%。然而在地上部干重方面,则是T4处理显著高于T3和T5,相对于CK处理提升了188.89%,相对于T5处理增加了21.88%。

如表5所示,相对于CK处理,蚯蚓粪的添加使得黄瓜幼苗根系的各项生长指标明显提高。其中T4处理的各项根系指标均最大,在总根长、总根面积、总根尖数和根干重方面,T4处理相对于CK分别提升了79.21%、106.04%、96.91%、117.16%,均差异显著。通过壮苗指数可以综合评判幼苗的生长状况,可以看出T4处理的壮苗指数仍是各处理中的最大值,相对于CK处理显著提高了63.64%。

表5　椰糠添加蚯蚓粪对黄瓜幼苗根部生长及壮苗指数的影响

Table 5　Effect of cocopeat supplemented with wormcast on root growth and seedling strength index of cucumber seedlings

处理 Treatments	总根长/cm Total root length	总根面积/cm² Total root area	总根尖数 Total root tips	根干重/mg Root dry weight	壮苗指数 Seedling strength index
CK	363.01±26.03c	32.73±1.58c	669.67±63.24c	18.07±3.95c	0.11±0.01d
T1	493.17±45.48b	51.66±4.83b	935.33±16.82b	22.80±0.49c	0.13±0.01cd
T2	497.81±16.53b	57.19±0.47ab	963.33±12.16b	36.50±2.00ab	0.17±0.00ab
T3	522.40±14.37b	58.39±0.90ab	1 261.67±81.91a	37.47±5.19a	0.17±0.01ab
T4	650.55±31.97a	67.44±1.56a	1 318.67±2.83a	39.23±1.61a	0.18±0.01a
T5	570.44±19.01ab	65.66±4.52a	1 040.67±61.66b	25.87±2.75bc	0.15±0.00bc

注:同一列不同小写字母代表差异显著($P<0.05$)。

Note:Different lowercase letters in the same column represent significant differences ($P<0.05$).

3 讨论

椰糠以其优越的物理特性被广泛应用于育苗基质,然而其在脱盐处理后往往存在养分不足的问题。因此,本研究添加蚯蚓粪作为营养补充,考察不同蚯蚓粪添加比例对育苗基质理化性质及幼苗各项生长指标的影响。结果表明,不同比例的蚯蚓粪在促进基质理化性质改良和幼苗生长上存在显著差异。

从基质理化性质来看,随着蚯蚓粪比例的提高,基质的容重显著上升,最高容重出现在100%蚯蚓粪处理(T5),相对于对照组(CK)提高了4.5倍。这表明高比例的蚯蚓粪显著增强了基质的密度,可能与蚯蚓粪的颗粒结构和较高的有机质含量有关。适当的容重提升可以增强基质的稳定性,但过高的容重会显著降低基质的透气性,对植物的根系生长产生抑制作用。类似的结论在王文婷等[25]关于太湖淤泥制备草皮基质的研究中也得到了验证,过高的容重可能破坏根系的正常氧气供应,从而对植物生长造成负面影响。基质的孔隙度分析进一步揭示了蚯蚓粪比例提高对透气性和持水性的影响。结果显示,随着蚯蚓粪比例的增加,总孔隙度和通气孔隙度逐渐下降,而持水孔隙度呈现出一定程度的上升趋势。尤其是在T5处理下,持水孔隙度相对于CK提高了6.37%。根据农业行业标准NY/T 2118-2012,适宜蔬菜育苗基质的总孔隙度应大于60%,通气孔隙度和持水孔隙度分别应大于15%和45%。本研究结果表明,CK和T1处理能够全面满足该标准,而T2~T5处理尽管在通气孔隙度方面未达到推荐标准,但在持水孔隙度和总孔隙度方面均符合要求。这些结果表明,蚯蚓粪的添加比例对基质的理化性质有显著影响。在实际应用中,应根据不同作物的需求调整蚯蚓粪的比例,以达到最佳的育苗效果。例如,对于透气性要求较高的植物,可以选择较低比例的蚯蚓粪配比(如CK或T1),而对于耐湿性较强的植物,则可以考虑适当提高蚯蚓粪比例,以增强基质的持水能力。此外,通过结合其它改良材料,如珍珠岩或蛭石,可能进一步优化基质的透气性和水分保持能力,为植物生长提供更加均衡的环境[26]。此结果不仅可为开发高性能的育苗基质提供科学依据,也可为提升育苗基质的实际应用价值提供重要参考。

随着蚯蚓粪比例的增加,基质的pH与碱解氮、有效磷、速效钾含量均明显提高,蚯蚓粪比例最大的T5处理的pH相对于CK增加了15.22%,有效磷和速效钾含量的提升尤为明显,相对于CK处理分别提升了大约10倍和100倍,其养分含量超过了农业行业标准NY/T 2118-2012中的推荐数值。这表明,蚯蚓粪作为有机肥料,能够为基质提供丰富的养分供应,显著改善育苗过程中植物的营养状况。然而,过高的养分含量可能带来一定的挑战。虽然高水平养分可促进植物生长,但过高的磷钾含量可能引发养分过剩的问题,导致盐分胁迫或营养不均衡,从而对种子发芽和幼苗生长造成负面影响。这种现象并非个例,在利用牛粪[8]、小麦秸秆[27]、餐厨垃圾[4]等有机废弃物堆肥进行基质配制的研究中也多次观察到类似结果,需要在基质配制时进行有效的调控。因此,在实际应用中,如何优化蚯蚓粪的比例成为关键。对于养分需求较低或对盐分敏感的植物,过高比例的蚯蚓粪可能并不适用,应适当降低其添加比例,或结合其它低水平养分材料进行配比,以稀释整体养分浓度并降低潜在的盐分胁迫风险。对于特定养分需求较高的作物,可以考虑通过合理的调控实现养分的精准供给,以兼顾高效育苗和环境友好。此外,根据农业行业标准NY/T 2118-2012中的推荐数值,蔬菜育苗基质的pH在5.5至7.5之间较为适宜,而EC值需保持较低水平以避免过高的盐浓度对幼苗产生负面影响。本研究中EC值随蚯蚓粪添加比例的增加显著下降,而pH则逐渐升高,这些现象反映了2种基质材料在化学特性上的互补性。首先,EC值的显著下降可能与椰糠和蚯蚓粪的溶解性盐含量有关。椰糠本身通常具有较高的EC值,因为在加工过程中可能残留一定量的可溶性盐分。而蚯蚓粪则以有机质和腐殖酸为主,含有较少的溶解性盐分,因此随着蚯蚓粪比例的增加,整体基质中的可溶性盐被稀释,导致EC值显著下降。这一变化对植物的育苗具有积极意义,因为过高的EC值可能抑制种子萌发和幼苗生长,而适宜范围内的EC值更有利于水分和养分的吸收。其次,pH值的逐渐升高可以归因于蚯蚓粪的碱性特性。椰糠的pH值通常在弱酸性范围,而蚯蚓粪中富含钙、镁等碱性离子,能够中和基质中的酸性物质,从而提高基质整体的pH

值。这种调节作用可使基质的pH更接近于植物生长的适宜范围,有助于提升育苗效果。

在对黄瓜幼苗养分吸收的影响方面,随着蚯蚓粪添加比例的增多,幼苗对氮、磷、钾的吸收明显增强,最高值均出现在T5处理,与CK相比分别提升了2.4倍、1.3倍和2.1倍。这一结果表明,蚯蚓粪的添加显著优化了基质的养分供给条件,从而促进了幼苗的养分吸收。首先,蚯蚓粪的高养分特性是幼苗吸收能力增强的关键原因。蚯蚓粪富含速效性氮、磷、钾养分,这些养分以易被植物吸收的形式存在,能够直接为黄瓜幼苗提供充足的营养供应。同时,蚯蚓粪中还含有大量的腐殖酸和微生物,这些成分可以改善基质的物理和化学性质,提高养分的可利用性[28]。例如,腐殖酸可以促进土壤团聚体的形成,增强基质的保水保肥能力,从而为幼苗提供更稳定的养分供应[29]。其次,蚯蚓粪的添加可能改善了基质的微生态环境,为幼苗的养分吸收创造了更有利的条件。研究表明,蚯蚓粪中丰富的有益微生物可以促进根系的生长和养分的吸收利用。这些微生物不仅可以通过分解有机质释放更多的可利用养分,还可以通过与植物根系的互作(如产生植物生长促进因子)进一步增强幼苗对氮、磷、钾的吸收能力[30]。

在种子萌发阶段,高比例的蚯蚓粪添加未能显著提高发芽指数,反而表现出一定程度的抑制作用。可能的原因是高比例蚯蚓粪带来的较高盐分浓度和养分水平对种子的萌发形成了胁迫。过高的EC会影响种子的吸水能力,进而延缓或抑制种子的萌发。同时,高浓度的养分可能对种子周围的环境产生不利影响,如引发渗透胁迫或导致种子胚发育不完全。因此,在种子萌发阶段,较低比例的蚯蚓粪可能更适合为种子提供均衡的水分和养分环境。尽管在种子萌发阶段表现相对一般,T4处理在幼苗生长阶段表现出了显著的促进作用,尤其是在地下部生长指标上,包括总根长、总根面积、总根尖数和根干重,相较CK分别提高了79.21%、106.04%、96.91%和117.16%。同时,T4处理的壮苗指数相较CK提高了63.64%,这表明适宜的蚯蚓粪比例在增强幼苗质量、提高幼苗抗逆性方面有明显作用。这不仅增强了幼苗的存活能力,也有望促进后续的移栽和生长。

进一步分析不同处理对种子发芽指数的影响,发现除100%椰糠处理外,其余添加了蚯蚓粪的处理均未达到100%的发芽指数,这表明高比例蚯蚓粪育苗基质对萌发阶段的种子生长可能具有一定抑制作用。然而,培养周期更长的试验结果表明100%蚯蚓粪基质的幼苗生长表现优于100%椰糠基质,说明发芽指数对预测幼苗整体生长效果存在局限性[31]。发芽指数主要反映了种子萌发的速度和整齐度,而幼苗的生长性能则受更广泛的因素影响,包括养分供应能力、根系发育环境以及基质理化性质的综合效应。高比例蚯蚓粪虽然在萌发阶段对种子造成一定胁迫,但在幼苗阶段,其丰富的养分供给和改良的根际环境或许可弥补萌发阶段的不足,从而明显促进幼苗的地上和地下部生长。比较100%椰糠与100%蚯蚓粪2种育苗基质,椰糠的优势主要体现在种子萌发阶段,蚯蚓粪的优势则体现在幼苗生长阶段。椰糠质地轻、持水性强且盐分较低,能够为种子提供均衡的水分和透气环境,从而促进种子萌发。然而,椰糠养分含量低,难以满足幼苗生长期的需求,而蚯蚓粪则凭借其丰富的氮、磷、钾养分和有机质含量,在幼苗生长阶段表现出更优的促进效果。另一方面,目前使用的发芽指数测定方法参照了有机肥标准[32],但这一标准可能不完全适用于育苗基质。后续研究应进一步优化蚯蚓粪与椰糠的配比,特别是针对40%~80%蚯蚓粪添加量区间内的比例细化试验,以明确最佳应用比例,并扩展至其它作物,评估基质的广泛适用性。同时,尝试结合珍珠岩或蛭石等改良材料优化基质的物理性质,降低盐分胁迫对种子萌发的影响。此外,需追踪幼苗移栽后的生长表现及最终产量,以全面评估蚯蚓粪基质对作物全生长周期的影响,为其大规模应用提供理论支持。

4　结论

本研究利用蚯蚓粪对椰糠基质进行养分补充,探索最适宜黄瓜幼苗生长的配比。研究结果表明,40%~80%蚯蚓粪添加量对基质理化性质的改良和黄瓜幼苗的生长具有较好效果。尤其是添加80%蚯蚓粪的T4处理不仅在基质理化性质上更为均衡,同时在幼苗的养分吸收、地上和地下部生长上表现出最佳的综合促进效果,展现了其作为育苗基质的应用潜力和优势。

参 考 文 献

[1]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.
Zhai T K, Chu Y F, Lin B Y, et al. Research progress on edible fungus residue in vegetable substrate utilization[J]. China Vegetables,2023(3):29-36.

[2]夏玉莹,王志君,李红宇,等.育苗方式对寒地水稻秧苗素质、产量及品质的影响[J].作物杂志,2023,(1):103-108.
Xia Y Y, Wang Z J, Li H Y, et al. Effects of seedling raising methods on seedling quality, yield and quality of rice in cold region[J].Crops,2023(1):103-108.

[3]唐玉新,曲萍,陆岱鹏,等.适合机械化移栽的番茄穴盘育苗基质配方筛选[J].江苏农业学报,2017,33(6):1342-1348.
Tang Y X, Qu P, Lu D P, et al. Screening of tomato plug seedling substrates proportion suitable for mechanized transplanting[J]. Jiangsu Journal of Agricultural Sciences,2017,33(6):1342-1348.

[4]刘欣宇,宋鹏,林永锋,等.餐厨堆肥与泥炭配比用于黄瓜育苗基质的研究[J].山西农业大学学报(自然科学版),2022,42(1):35-42.
Liu X Y, Song P, Lin Y F, et al. Study on the ratio of food waste compost and peat to cucumber seedling substrate [J]. Journal of Shanxi Agricultural University (Natural Science Edition),2022,42(1):35-42.

[5]Liu Z, Ge L Q, Li S, et al. Study on the effect of kitchen waste compost substrate on the cultivation of *Brassica chinensis* L[J]. Polish Journal of Environmental Studies, 2023, 32(5): 4139-4146.

[6]Ge L Q, Liu Z, Liu X Y, et al. Suitability analysis of kitchen waste compost for rice seedling substrate preparation[J]. Polish Journal of Environmental Studies, 2024,33(3):3115-3122.

[7]赵颖,何志刚,曲航,等.不同秸秆育苗基质对水稻幼苗生长和根际微环境的影响[J].江苏农业科学,2023,51(10):100-105.
Zhao Y, He Z G, Qu H, et al. Effects of different straw rearing substrates on rice seedling growth and rhizosphere microenvironment [J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2023, 51(10):100-105.

[8]殷泽欣,张璐,郝丹,等.牛粪堆肥替代泥炭用于3种茄科植物育苗的可行性[J].浙江农业学报,2021,33(9):1700-1709.
Yin Z X, Zhang L, Hao D, et al. Feasibility of cow dung compost substituting peat in seedling nursery of three Solanaceae plants[J]. Acta Agriculturae Zhejiangensis,2021,33(9):1700-1709.

[9]伍梦起,秦文婧,陈晓芬,等.猪粪沼渣用作育苗基质的效果研究[J].中国土壤与肥料,2022(3):119-125.
Wu M Q, Qin W J, Chen X F, et al. Application effect of pig biogas residue as seedling substrate [J]. Soil and Fertilizer Sciences in China,2022(3):119-125.

[10]刘铮,刘欣宇,李思怡,等.鸡粪堆肥替代泥炭用于配制水稻育苗基质的研究[J].园艺与种苗,2023,43(5):78-81.
Liu Z, Liu X Y, Li S Y, et al. Study on the replacement of peat by chicken manure compost for the formulation of rice seedling substrate [J]. Horticulture & Seed, 2023, 43(5): 78-81.

[11]周树东,许熙帅,石惠惠,等. 腐熟生活垃圾混配育苗基质对西瓜出苗及幼苗生长的影响[J]. 上海蔬菜,2022(6):68-69.
Zhou S D, Xu X S, Shi H H, et al. Effects of mixed seedling substrate of rotten domestic waste on watermelon seedling emergence and seedling growth [J]. Shanghai Vegetables, 2022(6):68-69.

[12]何立中,丁小涛,金海军,等. 商品岩棉条和椰糠条对黄瓜生长、光合、产量和品质的影响[J]. 中国蔬菜,2021(10):91-96.
He L Z, Ding X T, Jin H J, et al. Effects of commercial rock wool strip and coco coir strip on growth, photosynthesis, yield and fruit quality of cucumber [J]. China Vegetables, 2021(10):91-96.

[13]宋鹏,卢江,曹盼,等. 基于专利数据挖掘的中国蔬菜育苗基质配方用料分析[J]. 中南农业科技,2023,44(4):221-225.
Song P, Lu J, Cao P, et al. Analysis of China vegetable seedling substrate formula based on patent data mining [J]. South-Central Agricultural Science and Technology, 2023, 44(4):221-225.

[14]熊静,高杰云,谭均,等. 施用腐植酸钾对高盐椰糠基质栽培番茄幼苗生长的影响[J]. 腐植酸,2017(6):38-44.
Xiong J, Gao J Y, Tan J, et al. Effects of potassium humate on growth of tomato at seeding stage under high salinity coconut coir substrate culture[J]. Humic Acid,2017(6):38-44.

[15]刘欣宇,卢江,孟璇,等. 不同施肥措施下长江经济带地区农田土壤有机碳含量的变化分析[J]. 环境科学,2023,44(8):4647-4654.
Liu X Y, Lu J, Meng X, et al. Analysis on change in soil organic carbon content of farmland in Yangtze River economic belt under different fertilizing measures [J]. Environmental Science,2023,44(8):4647-4654.

[16]Liu Z, Ge L Q, Li S, et al. Kitchen waste compost's impact on rice quality, yield, and soil environment[J]. Polish Journal of Environmental Studies,2023,32(4):3225-3231.

[17]李彩琴,刘荔贞,王琴,等. 蚯蚓粪在农业方面的应用研究进展[J]. 山西大同大学学报(自然科学版),2024,40(1):13-16.
Li C Q, Liu L Z, Wang Q, et al. The research progress on the application of earthworm manure in agriculture[J]. Journal of Shanxi Datong University (Natural Science Edition),2024,40(1):13-16.

[18]蔺玉红,马嘉伟,张雪艳. 蚯蚓粪、草炭与生物炭混合对基质理化性质和细菌群落组成、代谢的影响[J]. 中国农业大学学报,2022,27(7):84-94.
Lin Y H, Ma J W, Zhang X Y. Effects of peat or vermicompost mixed with biochar on the physical and chemical properties of the substrate and composition and metabolism of bacterial communities [J]. Journal of China Agricultural University,2022,27(7):84-94.

[19]中华人民共和国农业部.NY/T 2118-2012,蔬菜育苗基质[S].北京:中国农业出版社,2012:1-13
Ministry of Agriculture of the People's Republic of China. NY/T 2118-2012, Plug seedling substrate of vegetables [S].

Beijing: China Agriculture Press, 2012:1-13.

[20]鲍士旦.土壤农化分析3版[M].北京:中国农业出版社,2000:22-113.
Bao S D. Soil agrochemical analysis 3rd edition[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2000: 22-113.

[21]中华人民共和国农业农村部.NY/T 525-2021,有机肥料[S]北京:中国农业出版社,2021:1-14.
Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China. NY/T 525-2021, Organic fertilizer[S] Beijing: China Agricultural Press, 2021:1-14.

[22]王国英,袁京,孔艺霖,等. 堆肥种子发芽指数测定方法与敏感性种子筛选[J]. 农业工程学报,2021,37(19):220-227.
Wang G Y, Yuan J, Kong Y L, et al. Determination of seed germination index and selection of sensitive seeds for phytotoxicity evaluation of composting[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2021, 37(19): 220-227.

[23]孙雨渤,丁祎璇,车苏桐,等.基于农户经验的贝莱斯芽孢杆菌农用发酵液便捷式制备方法[J].山西农业大学学报(自然科学版),2023,43(6):10-17.
Sun Y B, Ding Y X, Che S T, et al. Convenient preparation method of Bacillus velezensis based on farmers' experience for agricultural fermentation broth [J]. Journal of Shanxi Agricultural University (Natural Science Edition), 2023, 43(6):10-17.

[24]Tang Q Y, Zhang C X. Data Processing System (DPS) software with experimental design, statistical analysis and data mining developed for use in entomological research[J]. Insect Science, 2013, 20(2): 254-260.

[25]王文婷,陈润泽,王淳钰,等.低量添加太湖淤泥促进高羊茅出苗及生长[J].山西农业大学学报(自然科学版),2024,44(2):32-40.
Wang W T, Chen R Z, Wang C Y, et al. Promotion of tall fescue seedling gemination and growth by adding low levels of Taihu sediment[J]. Journal of Shanxi Agricultural University (Natural Science Edition), 2024, 44(2): 32-40.

[26]徐诚,轩正英,张娟,等.以蛭石为主的复配基质对黄瓜育苗的影响[J].江苏农业科学,2021,49(20):148-154.
Xu C, Xuan Z Y, Zhang J, et al. Influence of mixed substrate based on vermiculite on cucumber seedling[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2021, 49(20): 148-154.

[27]武亚红,周彦伟,靳青,等.复合基质添加腐熟小麦秸秆对黄瓜幼苗生长的影响[J].科技导报,2023,41(4):73-82.
Wu Y H, Zhou Y W, Jin Q, et al. Effects of adding rotted wheat straw to composite substrate on the growth of cucumber seedlings[J]. Science & Technology Review, 2023, 41(4): 73-82.

[28]李建辉,张莹莹,黄魁,等.宏基因组学解析蚯蚓粪中微生物种群及耐药基因的组成[J].中国环境科学,2020,40(12):5375-5382.
Li J H, Zhang Y Y, Huang K, et al. Composition of microbial community and antibiotic resistance genes in vermicomposts revealed by metagenomic analysis[J]. China Environmental Science, 2020, 40(12): 5375-5382.

[29]马志伟,张丛志,赵占辉,等.基于木本泥炭的土壤健康培育研究进展[J].生态环境学报,2024,33(12):1964-1977.
Ma Z W, Zhang C Z, Zhao Z H, et al. Research progress on soil health cultivation based on woody peat [J]. Ecology and Environmental Sciences, 2024, 33(12): 1964-1977.

[30]魏云飞,宋克光,王策,等.微生物菌剂调控连作番茄生长和养分吸收的效应[J].山东农业科学,2024,56(5):110-115.
Wei Y F, Song K G, Wang C, et al. Regulation effects of microbial agents on growth and nutrient uptake of continuous cropping tomato[J]. Shandong Agricultural Sciences, 2024, 56(5):110-115.

[31]Chang R X, Guo Q Y, Pandey P, et al. Pretreatment by composting increased the utilization proportion of pig manure biogas digestate and improved the seedling substrate quality [J]. Waste Management, 2021, 129: 47-53.

[32]Chang R X, Li Y M, Chen Q, et al. Comparing the effects of three *in situ* methods on nitrogen loss control, temperature dynamics and maturity during composting of agricultural wastes with a stage of temperatures over 70 ℃[J]. Journal of Environmental Management, 2019, 230: 119-127.

(编辑:郭玥微)