

酒糟窖泥复合基质理化特征分析及其应用效果

程利芳羽¹, 顾小凤², 江友峰¹, 张 萌², 魏全全², 柳玲玲², 苟久兰², 谭洪伟¹

(1. 贵州茅台酒厂(集团)循环经济产业投资开发有限公司 贵州遵义 563100;

2. 贵州省农业科学院土壤肥料研究所 贵阳 550006)

摘 要: 研发以酱香型白酒废弃物为主要成分的复合基质, 以期对酿酒废弃物进行资源化利用。以完全腐熟的酒糟与窖泥发酵物料为主料, 设置 6 个不同发酵物料添加比例(CK: 0、T1: 20%、T2: 40%、T3: 60%、T4: 80%、T5: 100%) 搭配草炭、珍珠岩配制复合基质, 分析复合基质的理化特征, 并以白菜为供试作物, 利用盆栽试验筛选适宜白菜生长的复合基质配方。结果表明, 发酵物料(酒糟+窖泥)添加比例在一定程度上影响复合基质的理化特征, 其中容重、pH 以及全氮、硝态氮和铵态氮含量均随发酵物料添加比例增加而升高。发酵物料添加比例影响白菜的生长生理指标, T2 处理的叶绿素含量(SPAD 值)、茎粗、冠幅、地上部鲜质量、地下部鲜质量、地上部干质量、蒸腾速率和胞间 CO₂ 浓度均最高。通过白菜生长指标的主成分分析计算各基质综合得分, CK, T1~T5 处理的综合得分分别为: -1.05、25.79、64.15、56.33、62.39、57.85, 由高到低的顺序为 T2>T4>T5>T3>T1>CK。综合来看, 发酵物料添加比例不同会导致复合基质的理化特征以及白菜生理生化指标有所差异, 40% 发酵物料+40% 草炭+20% 珍珠岩的复合基质更适合白菜生长, 可作为酒糟窖泥复合基质栽培白菜的最佳配方。

关键词: 酒糟与窖泥; 复合基质; 理化特征; 生理指标

中图分类号: S634.1

文献标志码: A

文章编号: 1673-2871(2025)05-180-07

Analysis of physical and chemical characteristics of wine lees cellar mud composite matrix and study on its application effect

CHENG Lifangyu¹, GU Xiaofeng², JIANG Youfeng¹, ZHANG Meng², WEI Quanquan², LIU Lingling², GOU Jiulan², TAN Hongwei¹

(1. Kweichow Moutai (Group) Circular Economy Industrial Investment and Development Co., Ltd., Zunyi 563100, Guizhou, China;

2. Institute of Soil and Fertilizer, Guizhou Academy of Agricultural Sciences, Guiyang 550006, Guizhou, China)

Abstract: To develop a composite matrix with Maotai-flavor liquor waste as the main component in order to recycle the liquor waste, a composite matrix was prepared with the fermented materials of fully decomposed wine lees and cellar mud as the main materials combine with turf and perlite, and the physicochemical characteristics of the composite matrix were analyzed by setting up 6 different fermentation material addition ratios (CK: 0, T1: 20%, T2: 40%, T3: 60%, T4: 80%, T5: 100%), and the composite matrix formula suitable for the growth of Chinese cabbage was screened by pot experiment. The results showed that the addition ratio of fermentation material (lees + cellar mud) affects the physical and chemical characteristics of composite substrate to some extent, and the bulk density, pH, and the content of total nitrogen, nitrate nitrogen and ammonium nitrogen increased with the increase of the addition ratio of fermentation materials. The proportion of fermentation material added affected the growth physiological indexes of Chinese cabbage. The SPAD value, stem diameter, crown width, fresh mass of aboveground part, fresh mass of underground part, dry mass of aboveground part, transpiration rate and intercellular CO₂ concentration of T2 were the highest. The comprehensive scores of each substrate were calculated by the principal component analysis of cabbage growth indexes, and the composite scores of CK, T1-T5 were -1.05, 25.79, 64.15, 56.33, 62.39 and 57.85, respectively. The order from high to low is T2>T4>T5>T3>T1>CK. In summary, the different proportion of fermentation materials would lead to differences in the physicochemical characteristics of composite matrix and the physiological and biochemical indexes of cabbage. The composite matrix of 40% fermen-

收稿日期: 2024-09-25; 修回日期: 2025-01-13

基金项目: 贵州茅台循环产投成果转化项目(XHFW2022085)

作者简介: 程利芳羽, 女, 工程师, 研究方向为酿酒微生物、酿酒废弃物的资源化利用。E-mail: chengxiaoyu0421@163.com

通信作者: 谭洪伟, 男, 副研究员, 研究方向为农业废弃物资源化利用。E-mail: gzmtxhct@163.com

tation material +40% turf +20% perlite was more suitable for the growth of cabbage, and could be used as the best formula for the cultivation of cabbage in the composite matrix of lees and cellar mud.

Key words: Lees and cellar mud; Composite matrix; Physical and chemical characteristics; Physiological index

白酒酿造过程中会产生大量的酒糟、窖泥等副产物,我国每年产生的酿酒副产物(如酒糟、窖泥等)超过 5000 万 t^[1]。废弃酒糟的用途很多,可用于生产饲料、有机肥、活性炭等^[2-8]。窖泥含有丰富的矿质元素,其中钾、铝、钙、镁、铁、磷、锰含量高于我国土壤平均值,是一种优质的有机资源。但窖泥的高含水量、高腐殖质、低含氧量的特性,使得其处置和存放困难,如果随意丢弃将会导致环境污染问题,并且造成资源浪费^[9-10]。前人研究表明,将窖泥与酒糟按比例混合后,在一定条件下进行腐熟发酵可制作成有机肥^[11];以经过腐熟发酵的酒糟和窖泥为主要原料可制作成育苗基质^[12-13]。

目前,蔬菜产业的科学化和集约化使得高效、快速培育优质壮苗成为实现蔬菜产业工业化的关键。有研究指出,污泥、菇渣、中药渣体积比为 70:30:5 基质的碱解氮、有效磷、有效钾含量分别可达 0.13 g·kg⁻¹、568.23 mg·kg⁻¹、119.38 mg·kg⁻¹,对小白菜生长的促进效果最好^[14]。基质中添加椰糠能提高白菜幼苗的株高、株幅、叶长、叶宽、单株干质量和鲜质量^[15]。高婷等^[16]在不同基质配比对白菜幼苗生长的影响中,综合株高、主根长、叶面积、地上鲜质量和壮苗指数等指标及经济、生态效益分析得出,45%草炭+51%椰糠+4%珍珠岩是大白菜育苗基质的最佳配比。同时,部分学者指出,不同基质配比对作物光合作用产生影响不同,如蛭石、炉渣、菇渣体积比为 2:1:1 和 3:1:1 的条件下,黄瓜的净光合速率、产量、果实营养品质综合评价均优于纯蛭石基质^[17]。添加蚯蚓粪能通过改善育苗基质性质,进而提高幼苗地上部及地下部的形态指标,达到培育健壮黄瓜幼苗的目的^[18]。与草炭、蛭石体积比为 2:1 的基质相比,75%草炭+25%香菇菇渣基质配比显著提高了草莓幼苗叶片的净光合速率、胞间 CO₂ 浓度、水分利用率,降低气孔限制值^[19]。刘中良等^[20]指出,腐熟菌渣、稻壳、牛粪复配河沙体积比为 3:1:1:1 时,番茄叶片净光合速率显著高于其他处理,果实品质佳,产量高。

前人对各类农业废弃物作为育苗基质的研究较多,但对将酒糟和窖泥作为原料,二者复配对白菜生长影响的研究较少。本研究以完全腐熟的酒糟与窖泥发酵物料为主料,通过与草炭、珍珠岩混合后制成不同配比的复合基质,明确不同复合基质的理化特征,并利用盆栽试验研究不同配比的复合

基质对白菜生理生化指标的影响,以筛选适宜白菜幼苗生长的复合基质配比,为酿酒废弃物的资源化利用提供科学支撑。

1 材料与方法

1.1 供试材料

试验于 2022 年 11 月在贵州省农业科学院土壤肥料研究所试验大棚进行。将鲜酒糟与窖泥按体积比为 5:5 混合后形成约 300 L 的堆体,在堆体中添加 150 g 菌剂进行堆肥发酵。菌剂为粉状的有机物料腐熟剂,由湖北启明生物工程有限公司提供,有机物料腐熟剂中有效菌种主要由枯草芽孢杆菌、地衣芽孢杆菌、酿酒酵母和绿色木霉组成,有效活菌数 ≥ 2.0 亿·g⁻¹。发酵周期为 32 d,其中高温时间(≥ 55 °C)为 8 d,待原料完全发酵腐熟后获得发酵物料。参照 NY/T 525—2021 对发酵物料的发芽指数进行测定^[21],参照 NY/T 2118—2012 对发酵物料的 pH、容重、总孔隙度、持水孔隙度和通气孔隙度进行测定^[22]。其发芽指数为 85.79%、pH 为 8.32、容重为 0.57 g·cm⁻³、总孔隙度为 48.43%、持水孔隙度为 28.55%、通气孔隙度为 19.88%。试验中所用鲜酒糟由贵州茅台酒厂(集团)循环经济产业投资开发有限公司提供,窖泥由中国贵州茅台酒厂(集团)有限责任公司提供,草炭购于南京宿根花卉植物园有限公司,珍珠岩购于广州居隆农业有限公司。

1.2 试验设计

试验共设置 6 个处理,按照体积进行基质配制,分别为 CK(草炭 80%+珍珠岩 20%)、T1(发酵物料 20%+草炭 60%+珍珠岩 20%)、T2(发酵物料 40%+草炭 40%+珍珠岩 20%)、T3(发酵物料 60%+草炭 20%+珍珠岩 20%)、T4(发酵物料 80%+珍珠岩 20%)、T5(发酵物料 100%)。

本试验选用的白菜品种为黔春改良 19 号,由贵州省农业科学院油料研究所选育,该品种为杂交种,叠抱型大白菜,在贵州省农业科学院土壤肥料研究所试验大棚中采用漂浮育苗的方法,将白菜种子在 136 穴的漂浮盘中培育至 3 片叶。将发酵物料、草炭、珍珠岩按照试验设计进行复配,在容量为 2.5 L 的花盆中装入 1.5 L 复配好的复合基质,复合基质水分统一调节至 40%。选择生长状况一致的白菜幼苗移栽,每个处理移栽 10 盆,每盆移栽 1

株。将移栽好的幼苗统一放至育苗台中进行生长期管理,根据天气情况进行适时水分管理。

1.3 测定项目和方法

1.3.1 复合基质理化特性的测定 将各原料按照比例混合后,每个处理均匀采集 3 个复合基质样品,取一部分样品参照 NY/T 2118—2012 测定其容重、总孔隙度、通气孔隙度、持水孔隙度^[22];另取一部分样品经风干制样后,参照鲍士旦^[23]的方法测定其 pH 和有机质(SOM)、全氮(TN)、全磷(TP)、全钾(TK)、硝态氮(NN)、铵态氮(AN)含量。

1.3.2 白菜生理生化指标的测定 在白菜成熟采收阶段,每个处理随机选取 5 盆长势相对一致的植株,用于光合指标(净光合速率、蒸腾速率、胞间 CO₂ 浓度和气孔导度)和生长生理指标[叶绿素含量(SPAD 值)、株高、茎粗、冠幅、地上部鲜质量、地下部鲜质量、地上部干质量和地下部干质量]的测定。于 09:00—11:00,选择白菜自上而下第 3 片完整叶,用 LI6400 便携式光合测定仪测定净光合速率、蒸腾速率、胞间 CO₂ 浓度和气孔导度。选择植株自下而上第 3 片完全平展叶,采用 TYS-B 型便携式叶绿素仪测定 SPAD 值。用直尺测量白菜株高,以茎基部到最长叶片的高度为准。用游标卡尺测量白菜茎粗,以根部最粗处的粗度为准。用直尺测量白菜冠幅,测定距离最远 2 叶片的直径。将白菜洗净后用剪刀分为地上部和地下部,擦干水滴后用电子天平分别称量地上部和地下部鲜质量。在电热鼓风干燥箱中 105 ℃杀青 30 min 后,60 ℃恒温烘干,用电子天平称量地上部干质量、地下部干质量。

1.3.3 白菜幼苗质量评价 利用 SPSS 软件中的主成分分析法对白菜生长生理指标进行处理,采用 KMO 和巴特利特球形度检验方法,利用主成分法相关矩阵和基于特征值大于 1 抽取因子,方差极大法计算旋转载荷值,选择载荷绝对值大于 0.70 的指标为各主成分中的解释指标,计算综合得分,评价不同复合基质的白菜幼苗质量。

1.4 数据分析

数据采用 SPSS 17.0 和 DPS 软件进行数据处理,采用 Microsoft Excel 2003 软件和 Origin 8.0 软件作图,结果采用 LSD 法在 $p<0.05$ 水平上进行差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 不同发酵物料添加比例对复合基质理化特性的影响

表 1 显示了不同发酵物料添加比例对复合基质物理特性的影响。复合基质的容重为 0.15~0.57 g·cm⁻³,随发酵物料添加比例的增加呈上升趋势。复合基质的总孔隙度为 48.43%~70.19%,持水孔隙度为 28.55%~56.01%,通气孔隙度为 14.19%~19.88%,总孔隙度和持水孔隙度随着发酵物料添加比例的增加而逐渐降低,除 T2 处理外,其余处理的通气孔隙度随着发酵物料添加比例的增加而逐渐升高。CK 的总孔隙度和持水孔隙度显著高于其他处理。

表 1 不同复合基质的物理特性
Table 1 Physical properties of different composite matrices

处理 Treatment	容重 Bulk density/ (g·cm ⁻³)	总孔隙度 Total porosity/%	持水孔隙度 Water holding porosity/%	通气孔隙度 Ventilation porosity/%
CK	0.15±0.01 e	70.19±1.02 a	56.01±1.68 a	14.19±0.68 c
T1	0.33±0.03 d	65.62±1.50 b	48.49±0.67 b	17.13±2.02 abc
T2	0.42±0.01 c	59.67±1.15 c	44.16±2.15 c	15.51±2.64 bc
T3	0.49±0.02 b	53.71±0.51 d	35.52±0.23 d	18.19±0.49 ab
T4	0.54±0.03 ab	50.13±0.80 e	30.71±1.59 e	19.42±2.06 a
T5	0.57±0.06 a	48.43±2.86 e	28.55±1.12 e	19.88±2.38 a

注:不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著。下同。
Note: Different lowercase letters indicate significant difference at 0.05 level. The same below.

表 2 表明不同发酵物料添加比例对复合基质化学特性的影响。复合基质的 pH 为 5.29~8.33,随发酵物料添加比例的增加呈上升趋势。全氮、全磷、全钾、硝态氮和铵态氮含量变化与 pH 变化规律一致,均随发酵物料添加比例的增加呈上升趋势,复合基质的全氮含量(w,后同)为 0.54%~0.86%,全磷含量为 0.19%~0.69%,全钾含量为 0.22%~1.33%,硝态氮含量为 45.34~223.25 mg·kg⁻¹,铵态氮含量为 107.83~414.69 mg·kg⁻¹。复合基质的有机质含量随发酵物料添加比例的增加呈下降趋势,有机质含量为 7.97%~53.13%,T4 和 T5 处理含量显著低于其他处理。

2.2 不同发酵物料添加比例对白菜生长指标的影响

表 3 表明不同发酵物料添加比例对白菜生长指标的影响。各复合基质白菜的 SPAD 值为 25.93~32.27,株高为 19.00~31.00 cm,茎粗为 16.53~25.30 mm,冠幅为 25.60~41.60 cm,地上部鲜质量为 88.01~532.54 g,地下部鲜质量为 18.03~25.50 g,地上部干质量为 8.40~29.44 g,地下部干质量为 2.72~3.74 g。T2 处理的叶绿素含量、茎粗、冠幅、地上部鲜质量、地下部鲜质量和地上部干质量均最高。CK 的株高、茎粗、冠幅、地上部鲜质量、地下部

表 2 不同复合基质的化学特性
Table 2 Chemical properties of different composite matrices

处理 Treatment	pH	w(有机质) Organic matter content/%	w(全氮) Total nitrogen content/%	w(全磷) Total phosphoru content/%	w(全钾) Total potassium content/%	w(硝态氮) Nitrate nitrogen content/(mg·kg ⁻¹)	w(铵态氮) Ammonium nitrogen content/(mg·kg ⁻¹)
CK	5.29±0.03 f	53.13±1.55 a	0.54±0.02 d	0.19±0.01 f	0.22±0.03 f	45.34±0.66 f	107.83±4.87 f
T1	5.82±0.04 e	40.15±1.93 b	0.58±0.03 c	0.29±0.02 e	0.43±0.04 e	96.52±6.08 e	131.77±8.22 e
T2	6.34±0.05 d	30.30±0.68 c	0.61±0.01 c	0.38±0.02 d	0.66±0.05 d	114.57±6.26 d	270.98±10.02 d
T3	6.86±0.07 c	19.46±1.48 d	0.66±0.03 b	0.47±0.02 c	0.87±0.04 c	156.92±7.73 c	317.08±10.47 c
T4	7.35±0.09 b	8.14±0.13 e	0.69±0.02 b	0.57±0.01 b	1.11±0.05 b	183.08±6.85 b	345.54±12.59 b
T5	8.33±0.10 a	7.97±0.48 e	0.86±0.03 a	0.69±0.06 a	1.33±0.04 a	223.25±3.14 a	414.69±11.44 a

表 3 不同复合基质对白菜生长指标的影响
Table 3 Effects of different composite matrices on the growth indicators of Chinese cabbage

处理 Treatment	SPAD 值 SPAD value	株高 Plant height/ cm	茎粗 Stem thickness/ mm	冠幅 Crown width/ cm	地上部鲜质量 Fresh mass of above-ground part/g	地下部鲜质量 Fresh mass of underground part/g	地上部干质量 Dry mass of above- ground part/g	地下部干质量 Dry mass of underground part/g
CK	27.13±0.99 c	19.00±1.01 d	16.53±1.87 c	25.60±0.65 d	88.01±5.48 f	18.03±0.95 d	8.40±0.63 e	2.72±0.14 c
T1	25.93±0.85 c	24.00±0.92 c	22.53±1.63 b	31.20±0.76 c	250.22±9.55 e	23.51±2.22 abc	17.14±1.20 d	3.63±0.16 a
T2	32.27±1.42 a	30.00±1.41 a	25.30±1.95 a	41.60±0.81 a	532.54±6.10 a	25.50±1.35 a	29.44±1.09 a	3.55±0.21 ab
T3	26.53±0.15 c	27.00±0.44 b	21.68±1.21 b	38.50±0.56 b	463.33±5.13 b	21.01±1.50 c	23.98±1.79 b	3.39±0.23 ab
T4	31.37±1.67 ab	26.00±0.95 b	21.16±1.26 b	37.10±0.84 b	325.20±9.07 d	24.04±1.08 ab	20.76±0.80 c	3.74±0.30 a
T5	29.97±0.64 b	31.00±0.85 a	21.40±0.74 b	41.41±1.12 a	442.42±8.25 c	22.02±0.92 bc	25.22±1.90 b	3.25±0.20 b

鲜质量、地上部干质量和地下部干质量均显著低于其他处理。

2.3 不同发酵物料添加比例对白菜光合特性的影响

图 1~4 表明不同发酵物料添加比例对白菜叶片光合特性的影响。各复合基质处理的白菜净光合速率为 16.81~19.50 μmol·m⁻²·s⁻¹,蒸腾速率为 0.78~5.35 μmol·m⁻²·s⁻¹,胞间 CO₂浓度为 119.65~305.98 μmol·mol⁻¹,气孔导度为 0.04~0.61 mol·m⁻²·s⁻¹,其中 T2、T3、T4、T5 处理的蒸腾速率、胞间 CO₂浓度、气孔导度均显著高于 CK。

2.4 不同发酵物料添加比例对白菜品质的影响

表 4 表明了不同发酵物料添加比例对白菜品质指标的影响。T1、T4、T5 处理的维生素 C 含量与 CK 差异显著,其中 T1 处理的维生素 C 含量为 97.59 mg·kg⁻¹,较 CK 显著降低了 46.11%,T4 和 T5 处理的维生素 C 含量分别为 224.34 和 262.14 mg·kg⁻¹,分别较 CK 显著增加了 23.89%和 44.76%。T1~T5 处理的硝酸盐含量较 CK 显著降低了 35.10%~52.78%。T2~T5 处理的还原糖含量较 CK 增加了 1.65%~14.88%。

2.5 不同复合基质白菜生长生理指标的主成分分析及综合评价

2.5.1 主成分分析 将试验测定的 11 个白菜生长

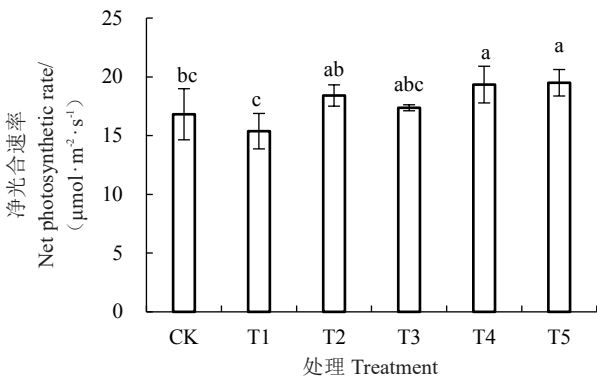


图 1 不同复合基质对白菜净光合速率的影响

Fig. 1 Effects of different composite substrates on net photosynthetic rate of Chinese cabbage

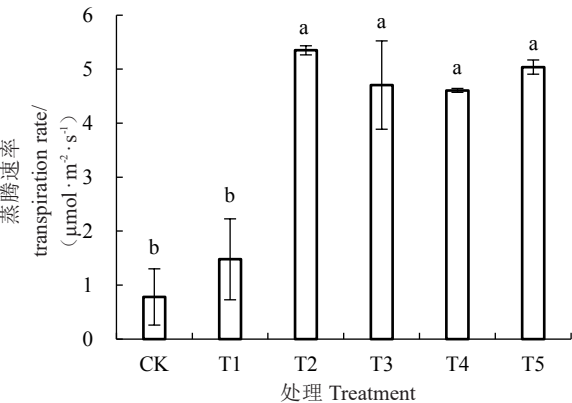


图 2 不同复合基质对白菜蒸腾速率的影响

Fig. 2 Effects of different composite substrates on transpiration rate of Chinese cabbage

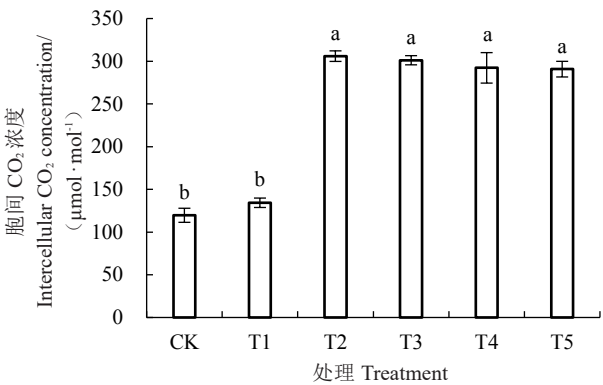


图3 不同复合基质对白菜胞间CO₂浓度的影响
Fig.3 Effects of different composite substrates on intercellular CO₂ concentration of Chinese cabbage

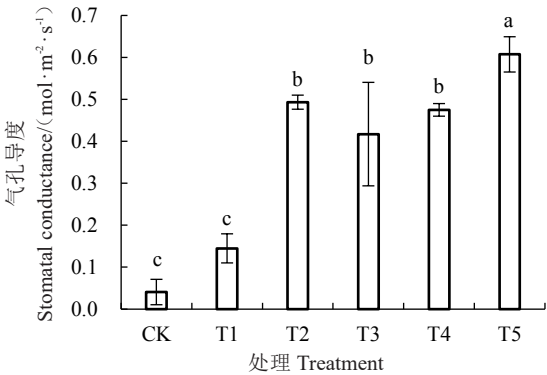


图4 不同复合基质对白菜气孔导度的影响
Fig.4 Effects of different composite substrates on stomatal conductance of Chinese cabbage

表4 不同复合基质对白菜品质的影响			
Table 4 Effects of different composite matrices on the quality of Chinese cabbage			
处理 Treatment	w(维生素C) Vitamin C content/ (mg·kg ⁻¹)	w(硝酸盐) Nitrate content/ (mg·kg ⁻¹)	w(还原糖) Reducing sugar content/%
CK	181.08±8.00 c	454.45±7.50 a	1.21±0.02 d
T1	97.59±3.08 d	242.62±4.63 d	1.10±0.02 e
T2	169.89±4.22 c	222.23±4.22 e	1.23±0.02 d
T3	174.52±6.06 c	214.58±6.04 e	1.29±0.02 c
T4	224.34±9.72 b	278.90±7.00 c	1.34±0.02 b
T5	262.14±9.88 a	294.92±6.00 b	1.39±0.01 a

生理指标进行主成分分析(表5),得到3个主成分,其中第1主成分包括株高、茎粗、冠幅、地上部鲜质量、地上部干质量、硝酸盐含量;第2主成分包括维生素C含量和还原糖含量;第3主成分包括SPAD值、地下部鲜质量和地下部干质量。3个主成分的方差贡献率分别为50.70%、24.20%、19.48%,累计方差贡献率为94.38%,可以反映各指标中足够的信息。

表5 旋转后的成分矩阵			
Table 5 Rotated component matrix			
指标 Index	PC1	PC2	PC3
SPAD 值 SPAD value	0.228	0.458	0.814
株高 Plant height	0.867	0.352	0.281
茎粗 Stem thick	0.836	-0.284	0.453
冠幅 Crown width	0.868	0.390	0.303
地上部鲜质量 Fresh mass of above-ground part	0.939	0.209	0.196
地下部鲜质量 Fresh mass of underground part	0.593	-0.241	0.759
地上部干质量 Dry mass of above-ground part	0.917	0.191	0.321
地下部干质量 Dry mass of underground part	0.588	-0.294	0.759
维生素C 含量 Vitamin C content	-0.095	0.947	-0.060
硝酸盐含量 Nitrate content	-0.908	0.284	-0.197
还原糖含量 Reducing sugar content	0.257	0.945	0.083
特征值 Eigenvalue	5.070	2.420	1.948
贡献率 Contribution rate/%	50.70	24.20	19.48
累计贡献率 Accumulate contribution rate/%	50.70	74.90	94.38

2.5.2 白菜幼苗质量综合评价 以白菜生长指标(SPAD值、株高、茎粗、冠幅、地上部鲜质量、地下部鲜质量、地上部干质量、地下部干质量)和品质指标(维生素C含量、硝酸盐含量、还原糖含量)为综合评价因子,利用KMO和巴特利特球形度检验方法计算各参数的主成分得分,如表6所示。由主成分因子

表6 主成分得分系数情况			
Table 6 Principal component score coefficient			
指标 Index	PC1	PC2	PC3
A(SPAD 值 SPAD value)	-0.308	0.177	0.732
B(株高 Plant height)	0.198	0.105	-0.113
C(茎粗 Stem thick)	0.130	-0.134	0.068
D(冠幅 Crown width)	0.187	0.120	-0.091
E(地上部鲜质量 Fresh mass of above-ground part)	0.273	0.047	-0.236
F(地下部鲜质量 Fresh mass of underground part)	-0.111	-0.104	0.494
G(地上部干质量 Dry mass of above-ground part)	0.206	0.043	-0.099
H(地下部干质量 Dry mass of underground part)	-0.027	-0.127	0.314
I(维生素C 含量 Vitamin C content)	-0.046	0.364	-0.004
J(硝酸盐含量 Nitrate content)	-0.278	0.140	0.227
K(还原糖含量 Reducing sugar content)	0.027	0.352	-0.022

得分系数矩阵获得成分因子得分模型,分别为:
 $F1=-0.308A+0.198B+0.130C+0.187D+0.273E-0.111F+0.206G-0.027H-0.046I-0.278J+0.027K$;

$$F2=0.177A+0.105B-0.134C+0.120D+0.047E-0.104F+0.043G-0.127H+0.364I+0.140J+0.352K;$$

$$F3=0.732A-0.113B+0.068C-0.091D-0.236E+0.494F-0.099G+0.314H-0.004I+0.227J-0.022K。$$

以各成分对应的方差贡献率为权重,根据主成分得分和相应的权重线性加权求和得到主成分的综合得分模型: $F=0.507\ 0\times F1+0.242\ 0\times F2+0.194\ 8\times F3$ 。通过主成分分析模型对6个不同处理进行评价,其综合得分分别为:CK为-1.05,T1处理为25.79,T2处理为64.15,T3处理为56.33,T4处理为62.39,T5处理为57.85。

3 讨论与结论

基质理化特性直接关系到幼苗的生长发育,决定植物的性状表现^[24-25]。不同基质比对土壤容重、总孔隙度、通气孔隙度、持水孔隙度均有不同程度的影响^[26]。研究表明,理想基质的容重应为 $0.2\sim 0.8\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$,总孔隙度应为 $60\%\sim 90\%$ ^[27]。本研究中,基质的容重为 $0.15\sim 0.57\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$,总孔隙度为 $48.43\%\sim 70.19\%$,与上述结果稍有偏差。高婷等^[16]研究表明,随草炭比例的增加(添加体积比值为0.36、0.45、0.55、0.68),配方基质容重呈变大的趋势,通气孔隙度、持水孔隙度呈变小的趋势。本研究结果与此相反,可能是本试验的原料为酒糟窖泥复混物料,窖泥容重大,酒糟的通气孔隙度大,持水力差所致。基质中养分含量影响着植物幼苗生长质量、健康状况^[28]。本试验中,pH、全氮含量、硝态氮含量和铵态氮含量均随酒糟窖泥复混物料添加比例的增加而逐渐升高。这与李其胜^[29]、杨爽等^[30]的研究结果相似,可能是因为酒糟与菇渣、牛粪等相似,其养分含量均较高,所以添加比例越高,养分含量越高。同时,草炭的通气透水性好、有机质含量丰富,但也存在有效养分含量极低的问题^[31-32]。

有研究指出,基质中影响植株性状的关键理化特性是总氮和碱解氮含量,其次是pH、EC、有机质含量、总钾含量、速效钾含量^[33]。本研究中,T1~T5处理的地上部和地下部干质量均大于CK,这与赵立琴等^[34]的研究结果一致,在双孢菇菌渣堆肥基质对番茄育苗效果的影响试验中,双孢菇菌渣堆肥基质好于对照,但双孢菇菌渣堆肥比例过高或过低均不利于番茄幼苗的生长发育。笔者的研究结果亦是如此,发酵物料添加比例过低,会导致基质养分不足,幼苗初期生长缓慢,影响后期营养吸收;发酵物料添加比例过高,又可能导致基质氮含量过高,

硝化作用强烈,释放大量 H^+ ,抑制植物的生长^[35]。另外,植物吸收氮过多会造成体内碳氮比失调,导致根系变弱,呈现细、短、轻的特点^[36]。

植物生长所需要的能量是通过光合作用来完成的,叶绿素是植物光合作用的主要色素,其含量高低是衡量植物生长好坏及光合能力强弱的重要生理指标^[37]。本试验中,T2处理SPAD值最高,茎粗、冠幅、地上部鲜质量、地下部鲜质量、地上部干质量均最大。这可能是因为小白菜的叶绿素含量增加,进而导致光合产物的积累,促进植株生长,提高小白菜产量^[38]。前人研究表明,合理的基质配比有利于作物的生长发育及干物质积累,并可提高作物的光合能力和最终产量^[39]。邓文^[40]的研究表明,秸秆与菇渣发酵物、草炭土、蛭石体积比为 $2:1:1$ 的基质,能提高辣椒的叶绿素含量和净光合速率。本研究中,T2~T5处理白菜的胞间 CO_2 浓度、蒸腾速率、气孔导度均显著高于CK和T1处理,这与吴英杰等^[41]的研究结果一致,在最优的基质配比中,辣椒叶片净光合速率、蒸腾速率、气孔导度和胞间 CO_2 浓度均高于其他处理。同时果实中可溶性糖、可溶性蛋白质、维生素C含量是影响果实品质和价值的主要因素^[42]。本试验中,维生素C和还原糖含量随着酒糟窖泥复混原料添加比例上升而增加,说明原料中存在对白菜产量和品质有益的元素,作为育苗基质是可行的,有益元素可作为下一步研究的重点。

本试验对白菜的生长、生理指标通过主成分分析进行了综合评价,第1主成分主要为株高、茎粗、冠幅、地上部鲜质量、地上部干质量、硝酸盐含量。说明白菜的地上部发育对白菜的生长尤为关键,同时通过综合得分和排名,筛选出T2处理(发酵物料、草炭、珍珠岩体积比为 $4:4:2$)为白菜的最佳栽培复合基质。综上所述,完全腐熟的酒糟、窖泥可作为原料,通过添加辅料进行配比后作为白菜栽培基质。发酵物料添加的比例不同导致复合基质中的营养元素有所差异,过高或过低均不利于白菜更好生长,40%的发酵物料添加比例下,白菜长势较好。

参考文献

- [1] 尹晓丽,欧雪,杨滨菱,等.基于白酒酿造废物资源化利用的研究开发[J].现代食品,2018(5):169-171.
- [2] 江鹏.固体发酵法利用茅台酒糟生产燃料乙醇[D].贵阳:贵州大学,2008.
- [3] 郭传广,何松贵,卫云路.酒糟能源开发利用研究[J].酿酒,2017,44(4):99-102.
- [4] HE M L, STANFORD K, DUGAN M E R, et al. Association of leptin genotype with growth performance, adipocyte cellularity, meat quality, and fatty acid profile in beef steers fed flaxseed or

- high-oleate sunflower seeddiets with or without triticale dried distiller's grains[J]. *Journal of Animal Science*, 2020, 98(4): skaa104.
- [5] 曲昆鹏. 发酵酒糟对家禽的影响研究[D]. 山东泰安: 山东农业大学, 2017.
- [6] 万吉志, 冷云伟, 吴根江, 等. 综合利用黄酒糟生产食醋的研究[J]. *中国酿造*, 2016, 35(1): 170-173.
- [7] 李哲, 张宿义, 杨红军, 等. 利用酿酒废弃物生产有机肥及肥效研究[J]. *食品与发酵工业*, 2021, 47(2): 160-166.
- [8] 陈玲林, 赵华. 白酒丢糟制备活性炭的技术研究[J]. *酿酒科技*, 2014(9): 96-99.
- [9] 范奇高, 黎露露, 骆红波, 等. 白酒酿造副产物的资源化利用技术研究进展[J]. *中国酿造*, 2023, 42(9): 1-6.
- [10] 海超. 窖泥老化原因浅析及预防措施探讨[J]. *食品与发酵科技*, 2022, 58(1): 136-139.
- [11] 王莉, 王和玉, 江友峰, 等. 一种利用酱香型白酒酒糟与废弃窖泥混合发酵制备有机肥的生产工艺: CN202110440583.X[P]. 2021-07-20.
- [12] 赵福培, 顾小凤, 张萌, 等. 酿酒废弃物不同配比基质对有机高粱幼苗生长发育的影响[J]. *贵州农业科学*, 2023, 51(8): 18-27.
- [13] 胡伟, 柳玲玲, 赵福培, 等. 一种基于酒糟和窖泥的药用高粱育苗基质及其制备方法: CN202111621807.3[P]. 2022-04-01.
- [14] 盛宣淋, 王晟, 邸雪嫣, 等. 污泥、菇渣复合基质对小白菜育苗的影响[J]. *北方园艺*, 2023(12): 8-14.
- [15] 王跃华, 张明科, 惠麦侠, 等. 不同椰糠配比基质对白菜幼苗生长的影响[J]. *南方农业学报*, 2019, 50(12): 2749-2754.
- [16] 高婷, 沙毓沁, 陆琳, 等. 不同基质配比对白菜幼苗生长的影响[J]. *北方园艺*, 2021(7): 33-37.
- [17] 徐诚, 轩正英, 张娟, 等. 不同基质对黄瓜生长、产量及果实品质的影响[J]. *北方园艺*, 2022(2): 9-17.
- [18] 白晓凤, 陆伟, 张宇昌, 等. 蚯蚓粪对草炭型育苗基质及黄瓜幼苗的影响[J]. *中国瓜菜*, 2024, 37(10): 75-81.
- [19] 李颖, 韩莹琰, 郝敬虹, 等. 香菇菇渣混配基质对草莓幼苗生长和光合作用的影响[J]. *北京农学院学报*, 2017, 32(4): 56-60.
- [20] 刘中良, 高俊杰, 张艳艳, 等. 不同有机基质配方对设施番茄产量及品质的影响[J]. *上海交通大学学报(农业科学版)*, 2019, 37(3): 34-38.
- [21] 中华人民共和国农业农村部. 有机肥料: NY/T 525—2021[S]. 北京: 中国农业出版社, 2021.
- [22] 中华人民共和国农业部. 蔬菜育苗基质: NY/T 2118—2012[S]. 北京: 中国农业出版社, 2012.
- [23] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [24] SALEEM S, MUSHTAQ N U, SHAH W H, et al. Morphophysiological, biochemical and molecular adaptation of millets to abiotic stresses: A review[J]. *Phyton-International Journal of Experimental Botany*, 2021, 90(5): 1363-1385.
- [25] MENG X Y, DAI J L, ZHANG Y, et al. Composted biogas residue and spent mushroom substrate as a growth medium for tomato and pepper seedlings[J]. *Journal of Environmental Management*, 2018, 216: 62-69.
- [26] 徐达, 张艳, 汪勇, 等. 育苗基质比对两种育苗方式下丝瓜幼苗生长的影响[J]. *中国瓜菜*, 2024, 37(10): 101-110.
- [27] 刘忠华, 赵帅翔, 刘会芳, 等. 蚯蚓粪复合基质对番茄穴盘育苗影响的试验研究[J]. *中国土壤与肥料*, 2019(4): 208-212.
- [28] 浩折霞, 黄大鹏, 顾少华, 等. 酒糟-牛粪堆肥复配瓜果类蔬菜育苗基质配方筛选[J]. *南京农业大学学报*, 2017, 40(3): 457-463.
- [29] 李其胜, 顾大路, 董青君, 等. 菇渣堆肥复配基质对黄瓜穴盘苗生长效应的综合评价[J]. *江苏农业学报*, 2023, 39(6): 1395-1402.
- [30] 杨爽, 陆秀琴, 刘伟. 牛粪草炭蛭石混配基质对辣椒幼苗生长的影响[J]. *安徽农学通报*, 2023, 29(10): 91-95.
- [31] 郝丹, 张璐, 孙向阳, 等. 金盏菊栽培中园林废弃物堆肥与牛粪替代泥炭的效果分析[J]. *植物营养与肥料学报*, 2020, 26(8): 1556-1564.
- [32] 卜晓莉, 姬慧娟, 马青林, 等. 生物炭-泥炭复合基质对马缨杜鹃生长和生理的影响[J]. *植物资源与环境学报*, 2021, 30(5): 58-68.
- [33] 陈春林, 王琳洋, 单梦伟, 等. 发酵花生壳和牛粪替代草炭基质的番茄育苗效果分析[J]. *中国农业科技导报*, 2023, 25(4): 205-214.
- [34] 赵立琴, 范博文, 杨凤军, 等. 双孢菇菌渣堆肥基质对番茄育苗效果的影响[J]. *北方园艺*, 2023(21): 15-22.
- [35] LI Z G, ZHANG R H, XIA S J, et al. Interactions between N, P and K fertilizers affect the environment and the yield and quality of satsumas[J]. *Global Ecology and Conservation*, 2019, 19: e00663.
- [36] 董桂春, 陈琛, 袁秋梅, 等. 氮肥处理对氮素高效吸收水稻根系性状及氮肥利用率的影响[J]. *生态学报*, 2016, 36(3): 642-651.
- [37] 谢彦如, 唐丹, 张蒲, 等. 不同基质配比对辣椒穴盘苗生长的影响[J]. *北方园艺*, 2020(4): 7-14.
- [38] 曾祥飞, 蒋南, 吕春悦, 等. 水培条件下氢肥对小白菜与生菜生长及光合作用的影响[J]. *湖南农业科学*, 2025(2): 28-35.
- [39] 周宇. 南疆设施黄瓜黄沙炉渣栽培基质筛选及水肥耦合效应研究[D]. 新疆阿拉尔: 塔里木大学, 2020.
- [40] 邓文. 秸秆/菇渣组合基质对三种蔬菜穴盘育苗的影响[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2019.
- [41] 吴英杰, 李玉娜, 郑幸果, 等. 利用炉渣和菇渣进行辣椒无土栽培的研究[J]. *干旱地区农业研究*, 2017, 35(1): 22-25.
- [42] 刘晓英, 徐文栋, 焦学磊, 等. 不同配比红蓝 LED 光对黄瓜果实产量和品质的影响[J]. *植物资源与环境学报*, 2016, 25(2): 80-84.