

罗爱华, 李文甲, 米彩霞. 菌糠浸提液与园试配方协同对水培生菜生长的影响[J]. 山西农业科学, 2025, 53(4): 100–108.

LUO A H, LI W J, MI C X. Effect of bacterial bran extract and garden experimental formula on the growth of hydroponic lettuce[J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2025, 53(4): 100–108.

doi:10.26942/j.cnki.issn.1002-2481.2025.04.12

菌糠浸提液与园试配方协同对水培生菜生长的影响

罗爱华¹, 李文甲¹, 米彩霞²

(1. 宁夏职业技术学院, 宁夏 银川 750021; 2. 银川能源学院, 宁夏 银川 750100)

摘要: 为提高菌糠的利用率, 探讨菌糠浸提液作为一种液体肥在蔬菜上的应用价值, 以减少蔬菜生产中化肥的施用量, 进而将菌糠消毒浸提制备成浸提液与日本园试配方协同作为液体肥在水培生菜上进行应用。试验选用宁夏地区常见的3种食用菌灵芝、香菇、木耳的菌糠, 使用煎煮法浸提制备浸提液, 设置菌糠种类(A)、浸提液浓度(B)、园试配方剂量(C)3个因素, 采用3因素3水平 $L_9(3^4)$ 正交试验设计, 研究菌糠浸提液与园试配方作为营养液对水培生菜生长的影响。结果表明, 影响生菜产量的主次顺序是菌糠种类(A) > 园试配方剂量(C) > 浸提液浓度(B)。灵芝、香菇、木耳菌糠浸提液对水培生菜产量、叶绿素含量的提高均有明显的促进作用, 其中以香菇菌糠表现最好, 筛选的最优组合处理是 $A_2B_3C_1$, 即在园试配方1/8剂量基础上, 添加3%的香菇浸提液, 水培生菜产量可以提高204.71%, 叶绿素总含量增加230.02%。香菇菌糠浸提液协同园试配方, 可以作为无土栽培水培有效的液体肥。

关键词: 菌糠; 浸提液; 园试配方; 生菜; 水培; 液体肥; 产量; 叶绿素含量

中图分类号: S636.2

文献标识码: A

文章编号: 1002-2481(2025)04-0100-09

Effect of Bacterial Bran Extract and Garden Experimental Formula on the Growth of Hydroponic Lettuce

LUO Aihua¹, LI Wenjia¹, MI Caixia²

(1. Ningxia Polytechnic, Yinchuan 750021, China; 2. Yinchuan University of Energy, Yinchuan 750100, China)

Abstract: To enhance the utilization of bacterial bran, explore application value of bacterial bran extract as a liquid fertilizer on vegetables to reduce chemical fertilizer usage in vegetable production, furtherly, preparing the extract by disinfecting the bran and using it in conjunction with a Japanese garden trial formula as a liquid fertilizer for hydroponic lettuce cultivation. In this study, a 3-factor 3-level $L_9(3^4)$ orthogonal experimental design was employed, with three factors: type of bacterial bran(A), concentration of the extract(B), and dosage of the garden trial formula(C). Common edible mushrooms from Ningxia, including *Ganoderma lucidum*, *Lentinus edodes*, and *Pleurotus eryngii*, were selected. The extract was prepared using the boiling method, and the effects of the bacterial bran extract and the garden trial formula as nutrient solutions on the growth of hydroponic lettuce were studied. The results indicated that the primary factor affecting lettuce yield was the type of bacterial bran(A), followed by the dosage of the garden trial formula(C), and then the concentration of the extract(B). The extracts from *Ganoderma lucidum*, *Lentinus edodes*, and *Pleurotus eryngii* significantly enhanced the yield and chlorophyll content of hydroponic lettuce. Among these, the extract from *Lentinus edodes* showed the best performance. The optimal combination treatment was $A_2B_3C_1$, which involved adding 3% of the *Lentinus edodes* extract to the 1/8 dose of the garden trial formula. This resulted in a 204.71% of increase in the yield of hydroponic lettuce and a 230.02% of increase in total chlorophyll content. The extract from *Lentinus edodes*, when combined with the garden trial formula, could serve as a reliable and effective liquid fertilizer for soilless cultivation hydroponics.

Keywords: bacterial bran; extract; garden trial formula; lettuce; hydroponics; liquid fertilizer; yield; chlorophyll content

收稿日期: 2024-11-06

基金项目: 宁夏职业技术学院科研发展基金(XJ201902)

作者简介: 罗爱华, 副教授, 硕士, 主要从事设施蔬菜栽培与生理研究, E-mail: 409891705@qq.com

通信作者: 李文甲, 副教授, 博士, 主要从事设施蔬菜栽培与生理研究, E-mail: 371269490@qq.com

菌糠,俗称食用菌菌糠或下脚料,是以木屑、棉籽壳、秸秆等原料进行食用菌栽培采收后的培养基剩余物或废弃物,其含有丰富的蛋白质、多糖、生物活性酶及营养物质,是一种可再利用的生物资源^[1-4]。

我国作为世界上最大的食用菌生产国,年产量达4 000万t,约占世界总产量的80%^[5]。食用菌的大量种植,使得废弃菌糠的来源非常丰富,每生产1 kg食用菌就会产生5 kg的菌糠(食用菌和菌糠均为干质量)^[6]。我国每年至少产生几千万吨菌糠,只有少量被用作畜禽饲料,大部分被遗弃,处理这些菌糠的传统方法是丢弃或燃烧。大多数菌糠被丢弃于河塘或田地中,导致霉菌、害虫等滋生,污染水源。燃烧也只能快速获得10%左右的热能,对生物量的利用并不合理,同时还会影响空气质量^[7-10]。废弃菌糠的基数巨大且持续增加,如何处置废弃菌糠是食用菌行业面对的重要课题。

食用菌对培养基营养成分的利用率约为70%,因此,菌糠内还残留大量的营养物质,菌糠中蛋白质、糖类、矿物质等含量丰富,含有大量氮、磷、钾等营养元素^[11]。在菌糠中添加适当比例的新鲜培养基后,可作为食用菌培养基再利用。菌糠廉价易得,较蛭石、泥炭土等疏松透气,是理想的花卉或蔬菜栽培基质^[12]。已有研究表明,使用双孢菇菌糠作为有机改良剂,可提高土壤肥力和生菜产量^[13]。施用香菇菌糠有机肥不仅能够促进紫甘蓝、西瓜生长发育,而且能够增强土壤中脲酶和多酚氧化酶活性,改善土壤理化性质,提高土壤肥力,进而提高紫甘蓝、西瓜产量,改善果实品质^[14]。此外,菌糠提取液对多种植物生长发育有明显的促进作用^[15-18]。黄泉等^[19]研究表明,适量配比的黑木耳菌糠堆肥基质浸提液对大豆的发芽指数活力、根长和根鲜质量有促进作用。张丽影等^[20]采用食用菌下脚料中菌丝浸出物的稀释液制成植物激素,喷洒于黄瓜、西红柿、茄子、扁豆等作物上,能促进生长,增加产量;喷洒于大豆作物,使大豆茎叶茁壮生长,抗病能力增强,产量增加2.6倍。香菇菌糠水提液可以抑制辣椒疫霉菌菌丝生长,增强植株抗病能力、促进植株生长^[21];律凤霞等^[22]以榆黄菇菌糠消毒后滤出的浸提液为营养液对番茄进行无土栽培,番茄的株高、茎粗、冠幅、终产量等均有明显增加。目前,菌糠水提物的提取率均

较低。张光祥等^[23]对腐熟后的平菇菌糠成分进行测定,提取出了水溶性、醇溶性物质以及腐殖质,但是水提物提取率仅为4.05%。目前,对于菌糠提取物的应用多以叶面喷施肥为主,对菌糠浸提液和肥料配合作为液体肥的研究较少。

本研究对废弃菌糠(灵芝、香菇、木耳)进行消毒、浸提,并研究了不同种类菌糠提取液和园试配方配合作为营养液对水培生菜生长的影响,拟筛选适宜生菜生长的最适宜菌糠浓度和园试配方剂量,为菌糠浸提液和园试配方配合作为液体肥用于水培蔬菜生产提供了科学依据。

1 材料和方法

1.1 试验材料

供试菌糠来自宁夏职业技术学院校内食用菌生产中心已栽培利用后的灵芝、香菇、木耳菌包。灵芝菌包配方为细果木屑25%,玉米芯50%,玉米粉5%,麦麸18%,石灰粉1%,石膏粉1%;香菇菌包配方为粗果木屑74%,麦麸20%,玉米粉4%,石灰粉1%,石膏粉1%;木耳菌包配方为细果木屑75%,麦麸20%,玉米粉4%,石灰粉1%,石膏粉1%。园试配方为 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 945 mg/L、 KNO_3 809 mg/L、 $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ 153 mg/L、 $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 493 mg/L。其中,园试配方剂量的1/2、1/4和1/8分别表示配方中各成分的质量浓度调整为原始质量浓度的1/2、1/4和1/8。

供试蔬菜为奶油生菜,由宁夏巨丰种苗有限公司提供。

1.2 试验方法

试验采用3因素3水平 $L_9(3^4)$ 正交试验设计,设置菌糠种类(A)、浸提液浓度(B)、园试配方剂量(C)3个因素,每个因素设3个水平,共9个处理,每个处理重复3次,正交试验因素与水平见表1,正交试验方案见表2。

表1 试验因素

Tab.1 Factors and levels of orthogonal test

水平 Level	因素 Factor		
	菌糠种类(A) Type of bacterial bran(A)	浸提液浓度(B) Extract concentration(B)	园试配方剂量(C) Garden experimental formula dose(C)
1	灵芝(A ₁)	1%(B ₁)	1/8(C ₁)
2	香菇(A ₂)	2%(B ₂)	1/4(C ₂)
3	木耳(A ₃)	3%(B ₃)	1/2(C ₃)

表 2 正交试验方案
Tab.2 Scheme of orthogonal test

处理 Treatment	A	B	C	误差 Error	水平组合 Level combination
T1	1(灵芝)	1(1%)	1(1/8)	1	A ₁ B ₁ C ₁
T2	1(灵芝)	2(2%)	2(1/4)	2	A ₁ B ₂ C ₂
T3	1(灵芝)	3(3%)	3(1/2)	3	A ₁ B ₃ C ₃
T4	2(香菇)	1(1%)	2(1/4)	3	A ₂ B ₁ C ₂
T5	2(香菇)	2(2%)	3(1/2)	1	A ₂ B ₂ C ₃
T6	2(香菇)	3(3%)	1(1/8)	2	A ₂ B ₃ C ₁
T7	3(木耳)	1(1%)	3(1/2)	2	A ₃ B ₁ C ₃
T8	3(木耳)	2(2%)	1(1/8)	3	A ₃ B ₂ C ₁
T9	3(木耳)	3(3%)	2(1/4)	1	A ₃ B ₃ C ₂

以清水加园试配方 1/2 剂量为对照(CK),设置在园试配方 3 个剂量(1/8、1/4、1/2)基础上,添加 3 种菌糠(灵芝、香菇、木耳)浸提液浓度(1%、2%、3%),并研究其对水培生菜产量和品质的影响。

随机选取灵芝、香菇、木耳已栽培菌包各 30 包,脱袋压碎后晒干,充分混匀研细,50℃烘干至恒质量,称取 3 kg 样品放入 5 L 清水中浸泡 24 h,然后煎煮浸提制备浸提液并进行过滤,使用高压灭菌锅将滤液进行灭菌处理,自然冷却,储存于棕色储液瓶,避光保存,即为菌糠浸提液。灵芝菌糠浸提液含氮 0.06%、磷 0.31%、钾 0.03%、有机质 2.47%,pH 值为 4.43;香菇菌糠浸提液含氮 0.07%、磷 0.39%、钾 0.02%、有机质 2.61%,pH 值为 3.69;木耳菌糠浸提液含氮 0.09%、磷 0.47%、钾 0.04%、有机质 3.56%,pH 值为 4.65。试验采用无土栽培水培生菜,在三叶一心时进行定植,生菜自定植至采收共 34 d。水培槽长 30 cm,宽 25 cm,高 15 cm,水培槽盛装营养液体积为 10 L,每个水培槽种植生菜 12 株,设置通气泵进行供氧。定植前 3 天清水栽培,第 4 天开始进行处理,在园试配方不同剂量基础上,添加各菌糠浸提液作为生菜全生育期营养液,各试验处理每 10 d 更换一次营养液,全生育期共更换 3 次营养液。

1.3 测定项目及方法

1.3.1 产量测定 每个水培槽随机选取 3 株生菜,每个处理 3 个重复,共 9 株,测定生菜地上部、地下部干、鲜质量,产量即为地上部鲜质量。处理结束后,取每株生菜称取地上部、地下部鲜质量;然后将

叶片、根部置入烘箱中于 105℃杀青 15 min,75℃烘干至恒质量并称量地上部、地下部干质量。

1.3.2 生菜品质测定 于定植 25 d 后测定生菜品质,采用分光光度计法测定叶绿素 a、叶绿素 b、类胡萝卜素含量,总叶绿素含量为叶绿素 a 和叶绿素 b 含量之和;采用氯化三苯基四氮唑(TTC)法测定根系活力;采用分光光度法测定硝酸还原酶活力。

1.4 数据分析

采用 SPSS 26.0 软件进行极差、方差分析、Tukey 法多重比较及主成分分析;采用 Origin 2021 软件(OriginLab Corporation)制图。

2 结果与分析

2.1 菌糠浸提液对生菜产量的影响

从表 3 可以看出,T8(A₃B₂C₁)处理是试验中地上部鲜质量最高的处理,其他处理地上部鲜质量(单株产量)为 28.18 g。T8 处理与 T3、T4、T5、T6 处理间无显著差异,T8 与 T9 处理差异显著($P<0.05$),T8 处理与 T1、T2 处理间差异极显著($P<0.01$);各处理间地上部干质量差异不显著。T5 处理的地下部鲜质量最高,与 T2 处理差异显著($P<0.05$),与其他处理无显著差异;T6 处理的地下部干质量最高,与其他处理差异显著($P<0.05$)。综上,T8 处理的产量最高。

经极差分析可知,A 因素的极差 R_A 最大,说明菌糠种类对生菜产量的影响最大,由于 $R_A>R_C>R_B$,因此 A、B、C 这 3 个因素对生菜产量影响的顺序依次是 A(菌糠种类)>C(园试配方剂量)>B(浸提液浓度)。

表3 不同处理的生菜地上部和地下部干、鲜质量分析

Tab.3 Analysis of fresh and dry weight of lettuce aboveground and underground

g/株

项目 Item	地上部鲜质量 Aboveground fresh weight	地上部干质量 Aboveground dry weight	地下部鲜质量 Underground fresh weight	地下部干质量 Underground dry weight
T1	16.54dBC	0.90aA	3.95abA	0.23bB
T2	7.83eC	0.44aA	2.40bA	0.18bB
T3	28.13aA	0.66aA	5.03abA	0.33bB
T4	27.43abA	0.69aA	4.65abA	0.30bB
T5	25.72abA	1.02aA	6.63aA	0.28bB
T6	23.70abcAB	0.66aA	6.24aA	0.59aA
T7	16.94cdB	0.53aA	4.98abA	0.28bB
T8	28.18aA	0.76aA	4.43abA	0.30bB
T9	20.90bcdAB	1.06aA	5.50abA	0.32bB
R _A	8.12	0.12	2.05	0.15
R _B	3.94	0.09	1.10	0.16
R _C	4.88	0.05	1.36	0.11
R _D	11.76	0.45	0.82	0.07

注:R为极差;不同大写和小写字母分别表示不同处理间差异极显著($P<0.01$)和显著($P<0.05$)。表4同。

Note: R was an extreme difference. Uppercase and lowercase letters indicated extremely significant($P<0.01$) and significant($P<0.05$) differences among different treatments, respectively. The same as Tab.4.

由图1可知,菌糠种类为A₂(香菇菌糠)时,生菜地上部鲜质量最高,浸提液浓度为B₃(3%)时,生菜地上部鲜质量最高,园试配方剂量为C₃(1/2)时,地上部鲜质量最高,由此得出最优组合为A₂B₃C₃,即菌糠种类采用香菇菌糠,浸提液浓度为3%,园试配方剂量为1/2,生菜地上部鲜质量最高。

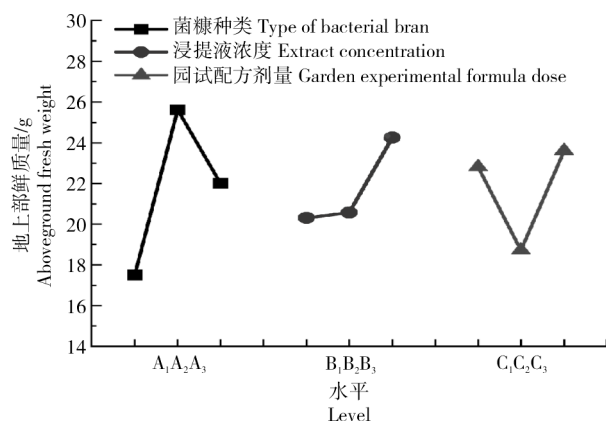
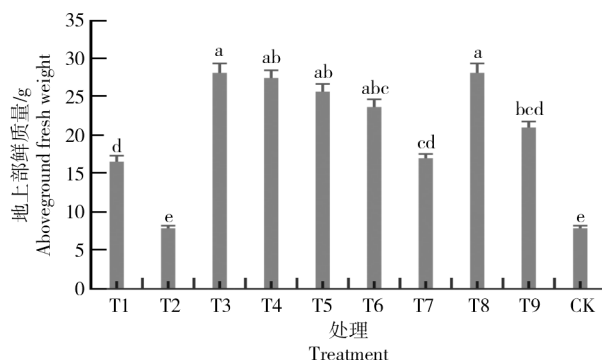


图1 3因素地上部鲜质量分析

Fig.1 Analysis of three factors aboveground fresh weight

将9个处理的地上部鲜质量与CK进行了比较分析(图2),结果发现,除T2处理外,其他处理的生菜产量与CK均差异显著($P<0.05$),其中,T8和T3处理产量较CK分别提高了261.65%、252.66%。各处理的生菜产量均高于CK,说明园试配方剂量

上添加菌糠浸提液对生菜产量的提高具有明显促进作用。



不同小写字母表示不同处理间差异显著($P<0.05$),图4、5、6同
Different lowercase letters indicated significant differences among different treatments($P<0.05$). The same as Fig. 4, 5, and 6

图2 不同处理生菜地上部鲜质量分析

Fig.2 Analysis of aboveground fresh weight under different treatments

2.2 菌糠浸提液对生菜叶绿素含量的影响

从表4可以看出,T6处理的叶绿素a、b含量、叶绿素总含量和类胡萝卜素含量均最高,分别为186.07、70.35、256.42、53.89 mg/g,T6处理与T4、T8处理间的叶绿素总含量无显著差异,与T1、T2、T3、T5、T7、T9处理间差异极显著($P<0.01$)。各处理间类胡萝卜素含量无显著差异。

表 4 生菜叶绿素、类胡萝卜素含量分析

Tab.4 Analysis of chlorophyll and carotenoid content in lettuce

mg/g

项目 Item	叶绿素 a 含量 Chlorophyll a content	叶绿素 b 含量 Chlorophyll b content	叶绿素总含量 Total chlorophyll content	类胡萝卜素含量 Carotenoid content
T1	111.41bcBC	28.72bcB	140.13bcBC	42.21aA
T2	106.2bcBC	36.79bcB	142.99bcBC	41.16aA
T3	112.02bcBC	33.74bcB	145.76bcBC	40.20aA
T4	155.18abAB	46.67abAB	201.85abAB	52.46aA
T5	109.07bcBC	26.39bcB	135.46bcBC	39.56aA
T6	186.07aA	70.35aA	256.42aA	53.89aA
T7	78.16cC	19.48cB	97.64cC	38.41aA
T8	147.59abABC	41.76bcAB	189.35abABC	48.99aA
T9	103.84bcBC	30.91bcB	134.75bcBC	39.83aA
R _A	40.24	17.09	57.33	7.45
R _B	19.06	13.38	32.44	1.41
R _C	48.61	20.41	69.02	8.97
R _D	30.16	13.53	42.21	6.68

由极差分析可知,C因素的极差 R_c 最大,说明园试配方剂量对生菜叶绿素总含量的影响最大,A、B、C这3个因素对生菜产量影响的顺序依次为C(园试配方剂量) $>$ A(菌糠种类) $>$ B(浸提液浓度)。

从图3可以看出,菌糠种类为 A_2 (香菇菌糠)时,生菜叶绿素总含量最高,浸提液浓度为 B_3 (3%)时,生菜叶绿素总含量最高,园试配方剂量为 C_3 (1/2)时,叶绿素总含量最高,由此得出最优组合为 $A_2B_3C_3$,即菌糠种类采用香菇菌糠,浸提液浓度为3%,园试配方剂量为1/2时,生菜叶绿素总含量最高,且叶绿素总含量随着浸提液浓度的增加而增加,随园试配方剂量的增加而降低。

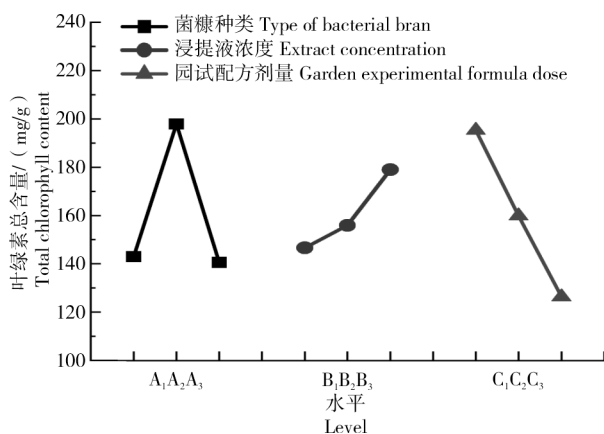


图3 3因素叶绿素含量分析

Fig.3 Analysis of three factor chlorophyll content

从图4可以看出,各处理生菜的叶绿素总含量均高于CK,其中,T6处理的叶绿素总含量最高,显著高于CK($P<0.05$),且较CK叶绿素总含量增加230.02%。综上,园试配方剂量上添加菌糠浸提液对生菜叶绿素总含量的提高有明显促进作用。

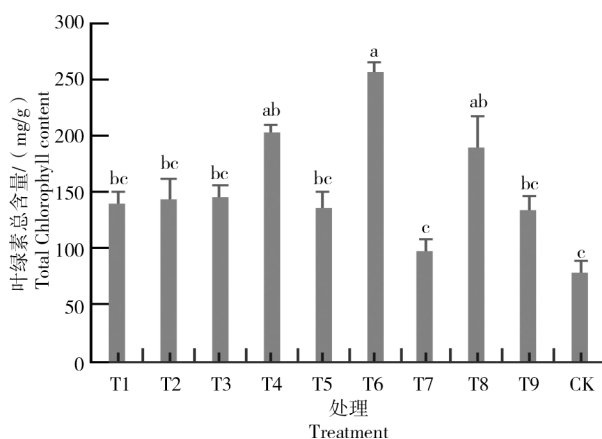


图4 不同处理下叶绿素含量分析

Fig.4 Analysis of chlorophyll content under different treatments

2.3 菌糠浸提液对生菜根系活力和硝酸还原酶活性的影响

从图5可以看出,T8处理的根系活力最强,T6处理次之,CK的根系活力最弱。其中,T8、T6处理的根系活力与CK有显著差异($P<0.05$)。综上,T8处理有助于生菜根系生长。

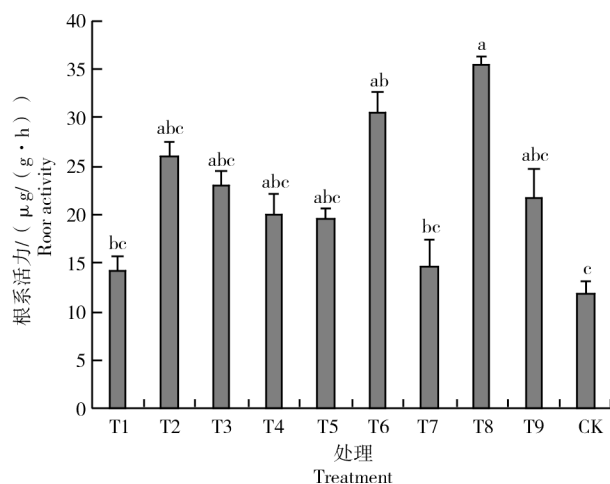


图5 不同处理根系活力分析

Fig.5 Analysis of root activity under different treatments

硝酸还原酶(NR)是植物氮素同化的关键酶。从图6可以看出,T6处理的NR活性最高,T2处理的NR活性最低,T6与T2处理间NR活性差异显著($P<0.05$),除T2处理外,其他各处理间NR活性无显著差异。

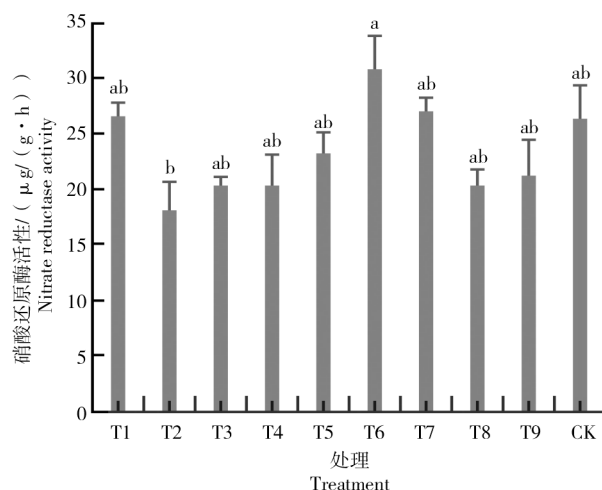


图6 不同处理硝酸还原酶活性分析

Fig.6 Analysis of nitrate reductase under different treatments

2.4 基于主成分分析的菌糠浸提液水培生菜综合评价

水培生菜11个指标间的相关性分析如表5所示。

表5 水培生菜11个指标间的相关性分析

Tab.5 Correlation analysis of 11 indexes of hydroponic lettuce

指标	Index	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀	X ₁₁
X ₁		1.00										
X ₂		0.56	1.00									
X ₃		0.77**	0.68*	1.00								
X ₄		0.56	0.22	0.71*	1.00							
X ₅		0.63*	0.24	0.48	0.76**	1.00						
X ₆		0.45	0.07	0.39	0.82**	0.96**	1.00					
X ₇		-0.18	0.07	-0.14	-0.57	-0.68*	-0.82**	1.00				
X ₈		0.58	0.19	0.45	0.79**	1.00**	0.98**	-0.73*	1.00			
X ₉		0.62*	0.23	0.45	0.68*	0.96**	0.90**	-0.67*	0.95**	1.00		
X ₁₀		0.19	-0.20	0.04	0.38	0.52	0.58	-0.54	0.54	0.49	1.00	
X ₁₁		-0.14	-0.09	0.23	0.47	0.08	0.15	0.15	0.10	0.01	-0.24	1.00

注:*表示变量之间达显著相关水平($P<0.05$),**表示变量之间达极显著相关水平($P<0.01$)。

Note: * indicated a significant correlation level among variables($P<0.05$), and ** indicated an extremely significant correlation level among variables($P<0.01$).

试验选择整体表征水培生菜的11个指标作为评价变量,分别为地上部鲜质量(X_1)、地上部干质量(X_2)、地下部鲜质量(X_3)、地下部干质量(X_4)、叶绿素a含量(X_5)、叶绿素b含量(X_6)、叶绿素a与叶绿素b含量的比值(X_7)、叶绿素总含量(X_8)、类胡萝卜素含量(X_9)、根系活力(X_{10})、NR活性(X_{11}),相关性分析结果表明,地上部鲜质量与地下

部鲜质量呈极显著正相关($P<0.01$),与叶绿素a含量、类胡萝卜素含量呈显著正相关($P<0.05$),与NR活性呈负相关。

根据各成分的特征值、方差贡献率和累计贡献率(表6),前3个特征值大于1,因此,提取了前3个主成分。第1主成分的方差占有主成分方差的56.056%,超过50%,前3个主成分的累计方差

贡献率达到 87.382%, >85%, 因此, 前 3 个主成分可描述水培生菜生长的情况。

表 6 主成分的贡献率及累计贡献率

Tab.6 Contribution rate and cumulative contribution rate of principal components

主成分 Principal component	特征值 Eigenvalues	贡献率/% Contribution rate	累计贡献率/% Cumulative contribution rate	主成分 Principal component	特征值 Eigenvalues	贡献率/% Contribution rate	累计贡献率/% Cumulative contribution rate
F1	6.166	56.056	56.056	F3	1.367	12.430	87.382
F2	2.079	18.896	74.952				

以每个主成分所对应的特征值占所提供主成分总特征值之和的比例作为权重计算主成分综合得分, 即 $F(\text{综合得分}) = 0.641 5F_1 + 0.216 5F_2 + 0.142 2F_3$ 。从表 7 可以看出, 主成分分析综合得分由高到低依次为 $T6 > T4 > T8 > T5 > T9 > T3 >$

$T1 > T7 > T2 > CK$, $T6$ 处理的综合得分最高, 为 1.461, $T4$ 处理次之, CK 得分最低。9 个处理得分均高于 CK , 表明在园试配方剂量基础上, 添加不同菌糠浸提液对生菜的产量和品质的提高均有作用。

表 7 主成分分析综合得分

Tab.7 Principal component analysis comprehensive score

处理 Treatment	F_1	F_2	F_3	综合得分 Comprehensive score	排名 Rank	处理 Treatment	F_1	F_2	F_3	综合得分 Comprehensive score	排名 Rank
T1	-0.425	0.612	0.503	-0.069	7	T6	2.003	-0.394	1.841	1.461	1
T2	-0.388	-2.092	-0.819	-0.818	9	T7	-0.755	0.283	0.888	-0.297	8
T3	0.110	0.139	-0.646	0.009	6	T8	0.676	-0.358	-1.104	0.199	3
T4	0.737	-0.092	-0.672	0.357	2	T9	-0.044	0.847	-0.671	0.060	5
T5	-0.168	1.664	-0.411	0.194	4	CK	-1.745	-0.608	1.092	-1.096	10

3 结论与讨论

本研究采用正交试验设计, 设置了菌糠种类(A)、浸提液浓度(B)、园试配方剂量(C)3 个因素和空白列(D)。由极差分析可知, 空白列的极差为 11.76, 其极差比因素 A(菌糠种类)、C(园试配方剂量)、B(浸提液浓度)的极差还大, 表明因素之间存在交互作用, 且影响主次顺序为 $A(\text{菌糠种类}) > C(\text{园试配方剂量}) > B(\text{浸提液浓度})$ 。本研究结果表明, 采用香菇菌糠生菜产量最高, 且产量随着浸提液浓度的增加而增加; 园试配方剂量 C_3 水平生菜产量最高, C_2 水平生菜产量最低, 园试配方剂量对生菜产量的影响趋势与菌糠种类对产量的影响趋势相反, 表明菌糠种类和园试配方剂量间存在交互作用, 需进行进一步探索性试验。

根据表 3、图 1 分析可知, 计算得到的最优组合为 $A_2B_3C_3$, 且该组合不在正交表试验方案的 9 次试验中。主成分分析表明, $T6(A_2B_3C_1)$ 处理的综合得分最高, 试验处理因子 C(园试配方剂量)各水

平间差异性检验表明, C_1 和 C_3 间差异不显著, 可以把 C_3 换成 C_1 , 即把 $A_2B_3C_3$ 改为 $A_2B_3C_1$, 正是正交表中的 $T6$ 处理, 所以, 确定菌糠浸提液对生菜影响的最优组合方案是 $A_2B_3C_1$, 即菌糠种类采用香菇菌糠效果最好, 在园试配方剂量 $1/8$ 基础上, 添加浓度为 3% 香菇浸提液, 可以显著提高生菜的产量和叶绿素总含量, 和 CK 相比, 产量增加了 204.71%, 叶绿素总含量增加了 230.02%。

采用香菇菌糠提取的浸提液对生菜的产量和品质影响效果最好, 可能与香菇菌糠的配方有关^[24], 在香菇菌糠中含有粗果木屑 74%, 而灵芝和木耳菌糠配方中为细果木屑。食用菌菌糠成分受多种因素的影响, 培养原料成分、菌种、培养环境的差异都会使菌糠成分不同^[25]。已有研究表明, 以菌糠为原料制备菌糠液体有机肥, 可提高小白菜产量约 30%, 改善土壤养分水平。其机理探究表明, 菌糠在液态 SMS 厌氧发酵过程中, 可能利用假单胞菌和色氨酸合成植物激素(吡啶-3-乙酸(IAA)), 并与大量营养元素和微量元素共同促进

植物生长^[26]。

本研究通过煎煮法制备菌糠浸提液水培生菜,试验表明,在园试配方剂量1/8基础上,添加3%香菇菌糠浸提液,生菜增产效果明显,表明菌糠浸提液作为液体肥在蔬菜上应用是可行的。同时,食用菌菌糠作为液体肥利用也存在一定的局限性,当生产量较大时,煎煮浸提存在一定的困难,需要进行机械化设备制备,提高生产成本。因此,对于菌糠液体肥在生产中低成本、简易化应用还需进一步的研究。

综上所述,灵芝、香菇、木耳菌糠浸提液的添加对水培生菜的生长均有影响,其中,以香菇菌糠表现最好,最优处理组合是 $A_2B_3C_1$,在园试配方剂量1/8基础上,添加香菇菌糠浸提液3%,生菜产量可提高204.71%,叶绿素总含量增加了230.02%。香菇菌糠浸提液配合园试配方营养液,可以作为无土栽培可靠有效的液体肥。

参考文献:

- [1] 赖春芬,杨羽茜,张海洋,等. 5种食用菌废菌糠的营养成分及胞外酶活性[J]. 贵州农业科学, 2017, 45(12): 82-85.
LAI C F, YANG Y X, ZHANG H Y, et al. Nutritional components and extra-cellular enzymatic activity of waste substrate from five edible fungi[J]. Guizhou Agricultural Sciences, 2017, 45(12): 82-85.
- [2] 宫志远,韩建东,杨鹏. 食用菌菌渣循环再利用途径[J]. 食用菌, 2020, 28(1): 9-16.
GONG Z Y, HAN J D, YANG P. Reutilization methods of spent substrate of mushroom[J]. Edible and Medicinal Mushrooms, 2020, 28(1): 9-16.
- [3] 杜金华,张昕瑶,马爽,等. 食用菌糠综合再利用的研究现状[J]. 广东蚕业, 2021, 55(6): 25-26.
DU J H, ZHANG X Y, MA S, et al. Research status of comprehensive reuse of edible mushroom residue[J]. Guangdong Sericulture, 2021, 55(6): 25-26.
- [4] 吴思,孙长龙,张倩楠,等. 食用菌菌糠的综合利用现状[J]. 生物化工, 2020, 6(6): 133-135.
WU S, SUN C L, ZHANG Q N, et al. Comprehensive utilization of edible fungus bran[J]. Biological Chemical Engineering, 2020, 6(6): 133-135.
- [5] 张莹,田龙,徐敏慧,等. 食用菌菌糠综合利用研究进展[J]. 微生物学通报, 2020, 47(11): 3658-3670.
ZHANG Y, TIAN L, XU M H, et al. Research progress in comprehensive utilization of spent mushroom substrates[J]. Microbiology China, 2020, 47(11): 3658-3670.
- [6] 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.
GUO Y, SONG S, GAO Q, et al. Progress in utilization of spent mushroom substrate[J]. Acta Edulis Fungi, 2022, 29(2): 103-114.
- [7] 朱晓琴,孙涛,张庆琛,等. 食用菌菌糠在农业种植中的再利用现状[J]. 北方园艺, 2021(16): 170-175.
ZHU X Q, SUN T, ZHANG Q C, et al. Reutilization progress of spent mushroom substrates in agriculture[J]. Northern Horticulture, 2021(16): 170-175.
- [8] 许子洁,王晶,曹子健,等. 食用菌菌糠资源化利用的现状与研究进展[J]. 食药菌, 2021, 29(6): 496-500.
XU Z J, WANG J, CAO Z J, et al. Research progress on resource utilization of spent mushroom substrates[J]. Edible and Medicinal Mushrooms, 2021, 29(6): 496-500.
- [9] 纪燕. 食用菌废菌棒综合利用概述[J]. 食用菌, 2024, 46(5): 71-73.
JI Y. Overview of comprehensive utilization of waste mushroom sticks[J]. Edible Fungi, 2024, 46(5): 71-73.
- [10] 张勇,陈骥,张锋. 中国菌糠露天焚烧污染物排放时空分布特征[J]. 中国环境科学, 2020, 40(1): 100-108.
ZHANG Y, CHEN J, ZHANG F. The spatiotemporal distribution of pollutant emissions from open burning of spent mushroom substrate in China[J]. China Environmental Science, 2020, 40(1): 100-108.
- [11] 杨和川,谭一罗,苏文英,等. 食用菌菌糠资源化利用研究进展[J]. 农业工程, 2018, 8(10): 54-58.
YANG H C, TAN Y L, SU W Y, et al. Research progress on resource utilization of spent mushroom substrate[J]. Agricultural Engineering, 2018, 8(10): 54-58.
- [12] 刘丽娜,魏书信,田广瑞,等. 香菇菌糠资源化利用研究进展[J]. 中国瓜菜, 2024, 37(4): 7-13.
LIU L N, WEI S X, TIAN G R, et al. Research progress on resource utilization of spent *Lentinula edodes* substrate[J]. China Cucurbits and Vegetables, 2024, 37(4): 7-13.
- [13] PAREDES C, MEDINA E, BUSTAMANTE M A, et al. Effects of spent mushroom substrates and inorganic fertilizer on the characteristics of a calcareous clayey-loam soil and lettuce production[J]. Soil Use and Management, 2016, 32(4): 487-494.
- [14] 赵文瑜. 香菇菌糠有机肥在设施果蔬生产上的应用[D]. 南京:南京农业大学, 2018.
ZHAO W Y. Application of edible fungus residual fertilizer to the production of fruits and vegetables[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2018.
- [15] 李挺,宋斌,林敏,等. 真姬菇菌糠提取液对5种食用菌的化感作用[J]. 中国食用菌, 2013, 32(1): 38-40.
LI T, SONG B, LIN M, et al. Allelopathy of spent substrate extract of *Hypsizygus marmoreus* on five edible fungi[J]. Edible Fungi of China, 2013, 32(1): 38-40.
- [16] 刘丽娜,崔国梅,李顺峰,等. 香菇菌糠中木质纤维素的挤压降解及结构表征[J]. 河南农业科学, 2024, 53(8): 173-180.
LIU L N, CUI G M, LI S, et al. Extrusion degradation and structural characterization of lignocellulose in spent mushroom substrate[J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2024, 53(8): 173-180.

- [17] 孔德平,王增池. 滑菇菌糠提取液对几种食用菌菌丝生长的影响[J]. 现代农村科技, 2021(11):54-56.
KONG D P, WANG Z C. Effect of *Pleurotus ostreatus* bran extract on *Mycelium* growth of several edible fungi[J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2021(11):54-56.
- [18] 姜明,刘思格,周思宇,等. 灵芝菌糠提取液对三种植物生长的影响[J]. 食用菌, 2019, 41(6):69-70.
JIANG M, LIU S G, ZHOU S Y, et al. Effects of *Ganoderma lucidum* mycelium extract on the growth of three plants[J]. Edible Fungi, 2019, 41(6):69-70.
- [19] 黄泉,谭笑,郗登宝,等. 不同黑木耳菌糠基质浸提液对大豆芽期生长的影响[J]. 黑龙江农业科学, 2020(10):38-41.
HUANG X, TAN X, XI D B, et al. Effects of extracts from different substrates of *Auricularia auricula* on soybean growth at germination stage[J]. Heilongjiang Agricultural Sciences, 2020(10):38-41.
- [20] 张丽影,邢承华,潘婷,等. 食用菌菌糠开发与利用的研究进展[J]. 食药菌, 2015, 23(2):72-75.
ZHANG L Y, XING C H, PAN T, et al. Progress in research and development of spent mushroom substrate[J]. Edible and Medicinal Mushrooms, 2015, 23(2):72-75.
- [21] KANG D S, MIN K J, KWAK A M, et al. Defense response and suppression of *Phytophthora* blight disease of pepper by water extract from spent mushroom substrate of *Lentinula edodes*[J]. Plant Pathology Journal, 2017, 33(3):264-275.
- [22] 律凤霞,李猷,高增濛. 榆黄蘑菌糠在番茄无土栽培中的应用研究[J]. 北方园艺, 2013(8):159-161.
LÜ F X, LI Y, GAO X M. Research of fungus chaff of *Pleurotus citrinipileatus* sing on the application of soilless cultivation of tomato[J]. Northern Horticulture, 2013(8):159-161.
- [23] 张光祥,司小卉,范涛,等. 腐熟菌糠成分测定与提取物植物促长研究[J]. 河北工程大学学报(自然科学版), 2011, 28(2):82-86.
ZHANG G X, SI X H, FAN T, et al. Determination of major mineral elements of decomposed SMS and evaluation for growth-promoting effect of extracts from SMS[J]. Journal of Hebei University of Engineering (Natural Science Edition), 2011, 28(2):82-86.
- [24] 吴慧,王玲玲,吴默涵,等. 不同配比香菇菌渣基质对鲜食黄瓜幼苗生长的影响[J]. 园艺与种苗, 2015, 35(6):24-28.
WU H, WANG L L, WU M H, et al. The effects of different mixing *Lentinus edodes* fungi residues substrates on growth of fresh cucumber seedlings[J]. Horticulture & Seed, 2015, 35(6):24-28.
- [25] 王勤礼,闫芳,席亚丽,等. 有机肥不同基源食用菌菌糠主要营养成分及安全性评价[J]. 中国沼气, 2019, 37(5):69-72.
WANG Q L, YAN F, XI Y L, et al. Main nutrients of different edible fungi residue and safety evaluation[J]. China Biogas, 2019, 37(5):69-72.
- [26] HUANG Z D, GUAN H C, ZHENG H, et al. Novel liquid organic fertilizer: a potential way to effectively recycle spent mushroom substrate[J]. Journal of Cleaner Production, 2022, 376:134368.