

时 薇,王志平,张秀琴,等. 自来水污泥与食用菌菌渣研制的新型机插秧育苗基质对水稻秧苗素质、产量及品质的影响[J]. 江苏农业科学, 2025, 53(2): 95–101.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2025.02.013

# 自来水污泥与食用菌菌渣研制的新型机插秧育苗基质对水稻秧苗素质、产量及品质的影响

时 薇<sup>1</sup>, 王志平<sup>1</sup>, 张秀琴<sup>1</sup>, 郭广军<sup>2</sup>, 张小祥<sup>1</sup>, 张 刚<sup>2</sup>, 肖 宁<sup>1</sup>, 潘存红<sup>1</sup>, 刘建菊<sup>1</sup>, 吴云雨<sup>1</sup>, 李育红<sup>1</sup>, 蔡 跃<sup>1,3</sup>, 陈梓春<sup>1</sup>, 朱书豪<sup>1</sup>, 余 玲<sup>1</sup>, 周长海<sup>1</sup>, 季红娟<sup>1</sup>, 高 鹏<sup>1</sup>, 吉春明<sup>1</sup>, 刘建凤<sup>1</sup>, 李爱宏<sup>1,4</sup>, 黄年生<sup>1</sup>

(1. 江苏里下河地区农业科学研究所/国家水稻产业技术体系扬州试验综合站, 江苏扬州 225007; 2. 扬州润江生态农业有限公司, 江苏扬州 225232;

3. 扬州大学农学院/植物功能基因组学教育部重点实验室/江苏省作物基因组学和分子育种重点实验室, 江苏扬州 225009;

4. 江苏省现代作物生产协同创新中心, 江苏南京 210095)

**摘要:**为探究不同比例自来水污泥和食用菌菌渣配组研制的新型机插秧育苗基质对水稻生长的影响,筛选出最适宜水稻秧苗生长的育苗基质配方,以扬香玉 200 为试验品种,设置不同比例的 3 个处理:A(自来水污泥:鹿茸菇渣:杏鲍菇渣:辅料=3:3:3:1)、B(自来水污泥:杏鲍菇渣:双孢菇渣:辅料=3:3:3:1)、C(自来水污泥:鹿茸菇渣:杏鲍菇渣:双孢菇渣:辅料=2:3:2:2:1)、柴米河基质(D)和细土(E)为双对照,对 5 个处理下秧苗素质、生理指标、移栽大田后的水稻产量以及稻米品质进行测定。结果表明,处理 A 培育的水稻秧苗在株高、茎基宽、地上部鲜重、地上部干重较处理 E 均显著提高;根体积、地下部鲜重与处理 E 相较无显著差异,根长显著短于处理 E,说明处理 A 根系较为粗壮,促进了秧苗地上部的生长。处理 B 和处理 C 分别减少了秧苗地下部和地上部的生物量。生理指标显示,处理 A 提高了秧苗叶绿素总量、可溶性蛋白含量和全氮含量,总糖含量显著降低;该处理秧苗移栽大田后,增产显著。综合比较,处理 A(润江基质 1 号)增强了水稻叶片光合作用和代谢,提高了糖分运输效率,秧苗整体素质好,对水稻增产贡献较大,可以在实践中应用推广。

**关键词:**自来水污泥;食用菌菌渣;机插秧;秧苗素质;生理指标;产量;品质

**中图分类号:**S511.04 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2025)02-0095-06

水稻机械栽插综合了轻简化、规模化、集约化等优点<sup>[1]</sup>,是推动江苏省水稻高产的主要技术手段之一。研究表明,秧苗素质直接影响机插的质量、效率和产量形成<sup>[2]</sup>,因此,培育用于机插的适龄壮秧尤为重要。随着机械栽插推广范围逐渐扩大,育秧介质的需求量也日益提升,导致大量高质量旱田被取土制成育秧基质,造成优质土壤资源流失,严重破坏当地耕层土壤和周边的植被结构,打破了生态平衡,造成了一定的环境压力<sup>[3]</sup>。为减少取土对

本地生态及粮食安全的影响,亟需研制一种新型、环保的机插秧育苗基质。

近年来,国家城乡经济的快速发展导致用水量逐年提升,自来水厂的污泥产生量十分巨大<sup>[4]</sup>。自来水污泥具有团粒结构好、保水保肥性强、pH 值稳定等土壤属性,是资源化利用的理想材料。同时,食用菌已成为我国农业生产主要经济作物之一<sup>[5]</sup>,栽种过程会产生大量菌渣。菌渣包含植物木质结构的主要成分,如木质素、纤维素、半纤维素等,还含有蛋白质、菌丝体、中微量元素等营养成分<sup>[6]</sup>,可为秧苗生长提供一定的养分,但其 pH 值偏高,孔隙度大,容重轻,不易保水保肥。目前,自来水污泥与食用菌菌渣配组资源化利用研究较少,将其产业化的报道更少。李猛等利用菌渣:河沙=8:2 的配比制作的基质可以促进番茄幼苗根系发育,提高产量<sup>[7]</sup>。阮琳等在自来水污泥中添加园林枯枝落叶进行堆肥,制成的营养基质可以促进桉树苗的生长<sup>[8]</sup>。本研究根据水稻机插秧育苗基质要求,将自

收稿日期:2024-04-10

基金项目:扬州市重点研发项目(社会发展)专项资金(编号:YZ2022065);国家现代农业产业技术体系建设专项(编号:CARS-01-78);江苏里下河地区农业科学研究所科研发展专项资金[编号:SJ(22)107、SJ(22)112]。

作者简介:时 薇(1995—),女,江苏南京人,硕士,研究实习员,主要从事水稻栽培与育种研究。E-mail:shiwei\_nj2021@126.com。

通信作者:黄年生,硕士,研究员,主要从事水稻栽培与育种研究。E-mail:jsyzhns@163.com。

来水污泥与食用菌菌渣按不同重量比配组,添加适量的速效养分、中微量元素、粘结剂、调酸剂等有效成分为辅料,制成 3 种新型机插秧育苗基质,对照选用常规机插秧育苗基质柴米河基质和细土,研究新型机插秧育苗基质对水稻秧苗素质、根系、生理指标、产量及品质的影响,从而探索出一条自来水污泥及食用菌菌渣无害化处理和资源化利用的有效途径,为保护土地资源并促进水稻机械化的发展提供有力支撑。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料与试验地点

符合农用污泥污染物控制标准的自来水污泥来自扬州立丹环保科技有限公司,食用菌菌渣来自扬州丰盈生物科技有限公司。自来水污泥和食用菌菌渣的配比在扬州润江生态农业有限公司(32°47′09″N,119°73′50″E)进行,育苗及水稻栽培试验于 2023 年 5 月 19 日至 10 月 27 日在江苏里下河地区农业科学研究所湾头基地(32°42′05″N,119°53′06″E)进行。对照 1(CK1)基质为柴米河育苗基质,对照 2(CK2)为细土。

供试品种为扬香玉 200,千粒重 25.67 g,发芽率 98.72%。

### 1.2 试验设计与材料培育

育秧试验设 5 个处理:A,润江基质 1 号(自来水污泥:鹿茸菇渣:杏鲍菇渣:辅料=3:3:3:1,重量比,下同);B,润江基质 2 号(自来水污泥:杏鲍菇渣:双孢菇渣:辅料=3:3:3:1);C,润江基质 3 号(自来水污泥:鹿茸菇渣:杏鲍菇渣:双孢菇渣:辅料=2:3:2:2:1);D,CK1 柴米河基质;E,CK2 细土。育秧塑料软盘规格 58 cm×28 cm×2.5 cm,2023 年 5 月 19 日播种,每个秧盘填充基质后于表面播干扬香玉 200 稻种 120 g,每个处理播 10 盘,3 次重复,育苗期统一管理。于 20 d 秧龄取样测定秧苗生长指标和生理指标,移栽后 10 d 再次取样测定秧苗生理指标。育秧前后分别取样对 5 个机插秧育苗基质进行理化性质测定。成熟后测产、考种,送样测定稻米品质。

试验田麦秸秆全量还田。于 6 月 12 日人工手栽模拟水稻机械栽插,小区面积 18 m<sup>2</sup>(长 6.0 m,宽 3.0 m),行距为 30 cm,株距为 12 cm,10 行,每行 50 穴,每个处理 3 次重复,随机区组排布。各处理移栽取长势一致的秧苗,栽插 4 苗/穴,基本苗 7.4 万。

肥料运筹如下:总施纯氮量 22 kg/667 m<sup>2</sup>,基肥:分蘖肥:穗肥为 5:2:3。移栽前施用基肥,其比例为总施氮量的 50%。移栽后 7、14 d 分别施用分蘖肥,占总施氮量的 12%、8%;促花肥、保花肥分别在叶龄余数 3.5、1.5 时施用,分别占总施氮量的 20%、10%。氮:磷:钾比例为 1:0.5:0.8,磷肥一次性基施,钾肥分别于耕翻前、拔节期等量施入。基肥:在整平筑畦后施 45% 复合肥(氮、磷、钾含量均为 15%)73 kg/667 m<sup>2</sup>作基肥。分蘖肥:分蘖肥 1,栽后 7 d,施尿素 5.74 kg/667 m<sup>2</sup>;分蘖肥 2,栽后 14 d,施尿素 3.83 kg/667 m<sup>2</sup>。促花肥:在叶龄余数 3.5 时分别施尿素 9.57 kg/667 m<sup>2</sup>、氯化钾 15 kg/667 m<sup>2</sup>。保花肥:在叶龄余数 1.5 时施尿素 4.78 kg/667 m<sup>2</sup>。

### 1.3 指标测定

1.3.1 基质及细土理化性质测定 孔隙度采用水饱和法<sup>[9]</sup>测定;有机质含量采用重铬酸钾氧化-外加加热法测定;全氮含量采用凯氏定氮法测定;全磷含量采用 NaOH 碱熔-钼锑抗分光光度法测定;速效钾、缓效钾含量采用火焰光度法测定;速效磷含量采用钼锑抗比色法<sup>[10]</sup>测定。

1.3.2 秧苗生长指标测定 5 个处理分别随机取 100 株苗,取 15 株测定秧苗的株高、叶龄、茎基宽、单株根数、根长等;百株根体积用排水法测定;称取百苗地上、地下部鲜重后,将烘箱设定 105 ℃,放入茎叶、根系计时 1 h 用于杀青,后将温度调低至 60 ℃ 烘干至质量恒定,天平准确称量百苗地上部、地下部干重,计算壮苗指数和根冠比。

壮苗指数:茎基宽/株高×百苗全株干重。

根冠比:百株地下部干重与百株地上部干重的比值<sup>[11]</sup>。

盘根力度:取秧块对其一端予以固定,用长、宽分别为 28、4 cm 的木条固定另一端,使用弹簧秤钩拉秧块,致使秧块断裂时弹簧秤所显示的拉力数值,即为盘根力<sup>[12]</sup>。

1.3.3 秧苗生理指标测定 采用考马斯亮蓝 G-250 法测定秧苗可溶性蛋白含量;分光光度法<sup>[13]</sup>测定叶片的叶绿素总量;试剂盒法测定可溶性糖、总糖、淀粉含量;凯氏定氮法测定植物氮含量。

1.3.4 产量及稻米品质测定 水稻成熟期,各小区单独测产,收割前各处理挖取有代表性的 3 株水稻进行考种,收割后取稻谷送至中国水稻研究所检测中心测定稻米品质。

1.4 数据处理

常规数据处理采用 Excel 2021 进行数据处理并制作图表,用 SPSS 19.0 进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同育苗基质育秧前后理化性质变化

含水孔隙度表示育苗基质有效的孔隙空间中被水占据的部分。由表 1 可知,育苗基质和细土 5 个处理的含水孔隙度在 2.32% ~ 24.12% 之间,表现为 A > B > D > C > E,说明处理 A 的保水性优于

其他育苗基质。育秧前和育秧后处理 A、B、C、D 有机质、全氮、全磷、速效钾、缓效钾、速效磷的含量均显著高于处理 E。育秧前 3 个新型机插秧育苗基质的有机质含量和柴米河基质相比无显著差异,速效磷含量均显著高于柴米河基质;处理 B 的速效钾、缓效钾含量分别为 144.53、7.75 mg/kg,显著低于 A、C、D 处理。育秧后速效钾和缓效钾含量较基质育秧前数值均有明显下降,处理 C 的缓效钾含量下降幅度最大,达 86.22%。

表 1 育秧前后不同基质理化性状

| 阶段  | 处理 | 含水孔隙度 (%) | 有机质含量 (g/kg)    | 全氮含量 (mg/g)   | 全磷含量 (g/kg)   | 速效钾含量 (mg/kg)     | 缓效钾含量 (g/kg)  | 速效磷含量 (mg/kg)   |
|-----|----|-----------|-----------------|---------------|---------------|-------------------|---------------|-----------------|
| 育秧前 | A  | 24.12     | 137.53 ± 4.15b  | 7.95 ± 0.13b  | 3.03 ± 0.17bc | 1 485.09 ± 38.08a | 18.80 ± 0.40c | 428.37 ± 10.74b |
|     | B  | 23.98     | 144.69 ± 2.95ab | 8.04 ± 0.12b  | 2.77 ± 0.19c  | 144.53 ± 3.71c    | 7.75 ± 0.26d  | 492.09 ± 5.23a  |
|     | C  | 15.71     | 145.11 ± 1.60a  | 9.22 ± 0.08a  | 3.84 ± 0.27a  | 1 312.49 ± 41.69b | 20.46 ± 0.44b | 220.68 ± 3.41c  |
|     | D  | 16.30     | 140.18 ± 6.45ab | 9.24 ± 0.12a  | 3.22 ± 0.24b  | 1 470.94 ± 16.72a | 21.09 ± 0.39a | 156.67 ± 3.58d  |
|     | E  | 2.32      | 20.22 ± 1.52c   | 1.37 ± 0.01c  | 0.92 ± 0.04d  | 71.68 ± 2.09d     | 2.08 ± 0.05e  | 54.48 ± 1.08e   |
| 育秧后 | A  |           | 159.93 ± 4.97c  | 8.46 ± 0.13c  | 3.30 ± 0.19b  | 733.66 ± 25.20a   | 3.81 ± 0.13c  | 327.32 ± 5.44b  |
|     | B  |           | 192.32 ± 2.61b  | 9.28 ± 0.07b  | 3.12 ± 0.17b  | 87.08 ± 5.26d     | 6.23 ± 0.20a  | 414.28 ± 9.90a  |
|     | C  |           | 130.90 ± 6.27d  | 9.50 ± 0.24b  | 3.85 ± 0.13a  | 441.52 ± 7.63c    | 2.82 ± 0.18d  | 241.60 ± 8.41c  |
|     | D  |           | 204.17 ± 5.60a  | 11.15 ± 0.25a | 3.36 ± 0.16b  | 701.93 ± 27.05b   | 5.24 ± 0.18b  | 231.15 ± 4.66c  |
|     | E  |           | 22.29 ± 1.07e   | 1.34 ± 0.02d  | 0.74 ± 0.02c  | 70.13 ± 1.87d     | 0.41 ± 0.04e  | 26.77 ± 1.02d   |

注:同栏同列数据后不同小写字母表示不同处理间差异显著(P < 0.05)。下同。

2.2 不同处理对地上部秧苗素质的影响

从表 2 可以看出,不同育苗基质处理下 15 株茎基宽度在 4.90 ~ 5.37 cm 之间,茎基宽可作为衡量水稻秧苗生长状况的指标之一,代表着秧苗生长的健壮程度。其中以处理 A 的茎基宽为最大,达到 5.37 cm,比处理 E 增长了 0.47 cm,两者呈显著差异。同时,处理 A 的秧苗株高最高,达 21.53 cm,较处理 E 显著提升 26.80%;处理 B、D 的株高分别显著提升了 22.14%、20.02%。处理 C 株高较处理 E

无显著差异,叶龄减少 10.56%,地上部鲜重减少 14.75%,说明润江基质 3 号对秧苗生长不仅无明显促进作用,甚至在一定程度上抑制了地上部秧苗的生长发育。地上部鲜重表示秧苗生物量的积累和健壮程度,处理 A 的地上部鲜重较处理 D 和处理 E 分别提高了 33.32% 和 68.65%,说明润江基质 1 号对地上部秧苗的作用优于润江基质 2 号和柴米河基质,促进了秧苗的生长,有助于基质育苗的壮秧形成。

表 2 不同处理地上部秧苗素质(秧龄 20 d)

| 处理 | 株高 (cm)       | 叶龄 (d)       | 15 株茎基宽 (cm)  | 地上部鲜重 (g/100 株) | 地上部干重 (g/100 株) |
|----|---------------|--------------|---------------|-----------------|-----------------|
| A  | 21.53 ± 0.55a | 3.37 ± 0.18a | 5.37 ± 0.12a  | 26.41 ± 2.01a   | 4.25 ± 0.31a    |
| B  | 20.74 ± 0.36a | 3.43 ± 0.07a | 5.10 ± 0.26ab | 20.87 ± 3.18b   | 3.10 ± 0.65ab   |
| C  | 15.16 ± 1.72b | 2.88 ± 0.27b | 5.20 ± 0.10ab | 13.35 ± 4.51c   | 2.54 ± 0.94b    |
| D  | 20.38 ± 1.11a | 3.23 ± 0.19a | 5.27 ± 0.31ab | 19.81 ± 1.43b   | 3.23 ± 0.30ab   |
| E  | 16.98 ± 1.23b | 3.22 ± 0.06a | 4.90 ± 0.10b  | 15.66 ± 2.83bc  | 2.91 ± 0.63b    |

2.3 不同处理对地下部根系素质的影响

水稻根系作为养分和水分的吸收器官,其生长

情况对秧苗盘根力度、大田机插质量、栽后缓苗等有较大影响<sup>[14]</sup>。由表 3 中数据可知,处理 A 单株根

数最多,为 12.71 条,与其他处理之间无显著差异。不同处理下秧苗根长的表现为  $E > D > C > B > A$ ,且处理 E 显著长于处理 C、B、A,百株根体积的表现为  $A > C = E > D > B$ 。分析认为,处理 E 的秧苗根系受缺肥因素的胁迫调节自身,主动通过根系寻找养分,供给生长需要,因此其根系相对较长、直径较小;处理 A 养分含量足够且环境适宜根系生长,根冠比比例最低,根系生长表现为根数多且粗壮;处理 B 的根长、根体积、地下部鲜重和地下部干重均低于其他 4 个处理,说明润江基质 2 号处理下根系生长偏弱。

壮苗指数结合了茎基宽、株高以及整株总生物量,可更为综合、科学地评判秧苗素质<sup>[3]</sup>。表 3 中,不同处理之间壮苗指数的趋势为  $A > C > E > D > B$ ,各处理间无显著差异。

机插秧作业质量的高低很大程度上受秧苗盘根力度的影响,若力度过小,在提起秧片时容易散开,秧苗难卷,则加大机插难度,栽后缺苗多;若力度过大则较难切割互相粘连的秧苗根。结果显示,处理 B 的盘根力度显著弱于其他处理,本试验各处理盘根力度均能达到机插要求。

表 3 不同处理地下部秧苗素质(秧龄 20 d)

| 处理 | 单株根数<br>(条)   | 根长<br>(cm)    | 根体积<br>(cm <sup>3</sup> /100 株) | 地下部鲜重<br>(g/100 株) | 地下部干重<br>(g/100 株) | 根冠比           | 壮苗指数         | 盘根力度<br>(kg) |
|----|---------------|---------------|---------------------------------|--------------------|--------------------|---------------|--------------|--------------|
| A  | 12.71 ± 1.87a | 6.98 ± 0.97b  | 11.51 ± 1.25a                   | 11.62 ± 4.15a      | 1.20 ± 0.12a       | 0.28 ± 0.02b  | 1.36 ± 0.17a | 5.64 ± 0.19a |
| B  | 11.44 ± 0.50a | 7.51 ± 0.18b  | 8.27 ± 0.76a                    | 8.27 ± 1.32a       | 1.06 ± 0.19a       | 0.34 ± 0.02b  | 1.02 ± 0.16a | 4.80 ± 0.23b |
| C  | 11.40 ± 1.47a | 7.54 ± 1.05b  | 11.15 ± 2.24a                   | 9.47 ± 1.74a       | 1.43 ± 0.32a       | 0.61 ± 0.20a  | 1.35 ± 0.31a | 5.54 ± 0.11a |
| D  | 11.22 ± 1.56a | 8.02 ± 0.17ab | 10.79 ± 1.08a                   | 8.60 ± 1.07a       | 1.23 ± 0.17a       | 0.38 ± 0.02b  | 1.15 ± 0.15a | 5.34 ± 0.11a |
| E  | 12.36 ± 0.71a | 8.99 ± 0.24a  | 11.15 ± 2.71a                   | 11.06 ± 2.39a      | 1.26 ± 0.18a       | 0.45 ± 0.15ab | 1.22 ± 0.26a | 5.41 ± 0.21a |

2.4 不同处理对秧苗生理指标的影响

作物体内的可溶性蛋白大多数是参与各种代谢的酶类,其含量的高低是了解作物总代谢的一个重要指标<sup>[15]</sup>,同时也可以为作物提供营养和调节渗透压,提高细胞的保水能力<sup>[3]</sup>。总糖包括可溶性的单糖、二糖以及不溶性的淀粉、纤维素、几丁质等。其中,可溶性糖含量与作物抗逆性密切相关<sup>[16]</sup>,淀粉是水稻中重要的能量储存物质<sup>[17]</sup>,氮素含量的高低会影响水稻的生理功能。以上指标均能反映秧苗的生长状况。

由表 4 可以看出,在 20 d 秧龄阶段,4 个基质种植秧苗的叶绿素含量和全氮含量较细土种植的秧苗均有所提升,处理 A 和处理 C 的叶绿素含量较处理 E 分别提升 26.88%、23.75%;处理 A、B、C、D 的全氮含量较处理 E 分别显著增加 26.77%、22.89%、9.88% 和 21.68%, 四者之间无显著差异。可溶性蛋白含量仅在处理 A 时显著高于处理 C,其余处理之间差异不显著。可溶性糖含量表现为  $C > E > D > A > B$ ,淀粉含量表现为  $E > C > D > A > B$ ,总糖含量表现为  $E > D > C > A > B$ ,3 个指标中处理 C、D、E 的含量均显著高于处理 A 和处理 B。

人工模拟机插秧栽插 10 d 后,不同处理下秧苗的叶绿素、可溶性蛋白和全氮的含量趋向一致,各

处理之间无显著差异;糖类物质在不同处理之间存在较大差异。处理 B 和处理 C 的可溶性糖含量较处理 E 分别提升 1.55% 和 17.29%,处理 A 和处理 D 较处理 E 分别降低 11.92% 和 9.33%。处理 A、B、C 的淀粉含量较处理 E 分别显著降低 14.35%、16.80% 和 9.88%,处理 A、B、C、D 的总糖含量较处理 E 分别显著降低 31.37%、21.07%、21.01% 和 7.12%。

2.5 不同处理对水稻产量的影响

由表 5 可以看出,处理 C 的株高较处理 E 显著降低 3.04%,其余处理较处理 E 差异不显著。有效穗、每穗总粒数、结实率和千粒重均会影响水稻产量,本试验中结实率的范围为 94.53% ~ 95.93%,千粒重的范围为 25.83 ~ 26.50 g,2 个指标在 5 个处理间均无显著差异。不同育苗基质和细土处理下有效穗数和每穗总粒数的数据之间存在一定差异。有效穗数在处理 A 时最多,为 343.00 万穗/hm<sup>2</sup>,较处理 D 和处理 E 的增幅分别为 5.05% 和 8.54%。每穗总粒数的范围在 127.00 ~ 134.67 粒/穗之间,处理 A 的每穗总粒数较处理 E 显著提高 5.25%;处理 B、C、D 均与处理 E 之间差异不显著,分别增加 5.51%、4.54%、6.04%。本试验中,与处理 E 相比,处理 A、B、C、D 的理论产量分别提升了 20.75%、

表 4 不同处理秧苗生理指标(秧龄 20 d 与移栽后 10 d)

| 阶段       | 处理 | 叶绿素总量<br>(mg/g) | 可溶性蛋白含量<br>(mg/g) | 可溶性糖含量<br>(mg/g) | 淀粉含量<br>(mg/g) | 总糖含量<br>(mg/g) | 全氮含量<br>(mg/g) |
|----------|----|-----------------|-------------------|------------------|----------------|----------------|----------------|
| 20 d 秧龄  | A  | 2.03 ± 0.24a    | 38.38 ± 1.26a     | 2.57 ± 0.30b     | 4.61 ± 0.10b   | 19.21 ± 0.74d  | 40.82 ± 1.64a  |
|          | B  | 1.90 ± 0.15ab   | 36.30 ± 0.87ab    | 1.65 ± 0.68c     | 4.28 ± 0.18b   | 18.09 ± 0.57d  | 39.57 ± 2.77a  |
|          | C  | 1.98 ± 0.17a    | 31.91 ± 2.15b     | 3.56 ± 0.56a     | 5.58 ± 0.48a   | 23.30 ± 0.94c  | 35.38 ± 2.70ab |
|          | D  | 1.92 ± 0.26ab   | 37.63 ± 6.27ab    | 3.01 ± 0.19ab    | 5.43 ± 0.35a   | 31.30 ± 1.17b  | 39.18 ± 6.15a  |
|          | E  | 1.60 ± 0.09b    | 37.82 ± 2.32ab    | 3.10 ± 0.52ab    | 5.76 ± 0.20a   | 35.45 ± 0.54a  | 32.20 ± 2.01b  |
| 移栽后 10 d | A  | 3.66 ± 0.17a    | 63.63 ± 2.37a     | 18.70 ± 0.23b    | 11.88 ± 0.53bc | 49.64 ± 1.93d  | 50.03 ± 1.54a  |
|          | B  | 3.17 ± 0.48a    | 59.60 ± 5.09a     | 21.56 ± 1.76ab   | 11.45 ± 0.37c  | 57.09 ± 1.41c  | 49.43 ± 0.96a  |
|          | C  | 3.57 ± 0.07a    | 63.83 ± 3.90a     | 24.90 ± 0.98a    | 12.50 ± 0.70b  | 57.13 ± 2.28c  | 48.23 ± 1.46a  |
|          | D  | 3.47 ± 0.17a    | 64.66 ± 1.66a     | 19.25 ± 4.55ab   | 13.76 ± 0.46a  | 67.18 ± 2.61b  | 48.90 ± 1.47a  |
|          | E  | 3.54 ± 0.30a    | 58.04 ± 5.68a     | 21.23 ± 1.31ab   | 13.87 ± 0.26a  | 72.33 ± 0.81a  | 49.61 ± 0.59a  |

6.95%、6.14%、9.26%，处理 A、D 与处理 E 之间差异达显著水平；实际产量分别提升了 10.91%、3.93%、2.94%、4.36%，处理 A、B、D 与处理 E 之间差异达显著水平。说明使用育苗基质育秧能提升

秧苗的素质，增加后期水稻产量。自来水污泥和食用菌菌渣的不同配比对秧苗生长效果不同，润江基质 1 号基质增产最为明显，润江基质 2 号和润江基质 3 号则与柴米河基质无显著差异。

表 5 不同处理对产量的影响

| 处理 | 株高<br>(cm)      | 有效穗数<br>(万穗/hm <sup>2</sup> ) | 每穗总粒数<br>(粒/穗)  | 结实率<br>(%)    | 千粒重<br>(g)    | 理论产量<br>(t/hm <sup>2</sup> ) | 实际产量<br>(t/hm <sup>2</sup> ) |
|----|-----------------|-------------------------------|-----------------|---------------|---------------|------------------------------|------------------------------|
| A  | 103.22 ± 1.50a  | 343.00 ± 3.77a                | 133.67 ± 1.53a  | 95.80 ± 1.01a | 26.50 ± 0.40a | 11.99 ± 0.27a                | 10.17 ± 0.17a                |
| B  | 101.89 ± 1.68ab | 316.50 ± 7.94b                | 134.00 ± 3.00ab | 95.03 ± 0.81a | 26.37 ± 0.50a | 10.62 ± 0.06bc               | 9.53 ± 0.32b                 |
| C  | 99.11 ± 1.39b   | 319.00 ± 15.90b               | 132.76 ± 5.69ab | 95.93 ± 3.09a | 26.00 ± 0.26a | 10.54 ± 0.50bc               | 9.44 ± 0.06bc                |
| D  | 103.11 ± 1.35a  | 326.50 ± 12.93ab              | 134.67 ± 3.51ab | 94.53 ± 0.90a | 26.10 ± 0.30a | 10.85 ± 0.68b                | 9.57 ± 0.18b                 |
| E  | 102.22 ± 1.84a  | 316.00 ± 11.06b               | 127.00 ± 5.57b  | 95.77 ± 0.85a | 25.83 ± 0.25a | 9.93 ± 0.54c                 | 9.17 ± 0.10c                 |

2.6 不同处理对水稻品质的影响

不同处理下扬香玉 200 的稻米品质均表现为优质三等粳稻品种品质，各处理间无显著差异(表 6)。

由本试验检测结果可知，不同育苗基质育苗的作用主要表现于早期秧苗的生长以及水稻产量的差异，并不会对水稻的稻米品质产生影响。

表 6 不同处理对稻米品质的影响

| 处理 | 部标等级 | 出糙率<br>(%) | 精米率<br>(%) | 整精米率<br>(%) | 粒长<br>(mm) | 粒型<br>(长/宽) | 垩白粒率<br>(%) | 垩白度<br>(%) | 直链淀粉<br>含量(%) | 胶稠度<br>(mm) | 碱消值<br>(级) | 透明度<br>(级) |
|----|------|------------|------------|-------------|------------|-------------|-------------|------------|---------------|-------------|------------|------------|
| A  | 优 3  | 84.2       | 74.9       | 72.9        | 5.1        | 1.7         | 15          | 2.2        | 15.3          | 78          | 6.7        | 1          |
| B  | 优 3  | 84.4       | 74.9       | 72.5        | 5.0        | 1.7         | 12          | 2.0        | 14.5          | 79          | 6.7        | 1          |
| C  | 优 3  | 83.6       | 74.6       | 71.8        | 5.1        | 1.7         | 8           | 2.0        | 15.0          | 80          | 6.7        | 1          |
| D  | 优 3  | 83.8       | 75.1       | 72.5        | 5.1        | 1.7         | 16          | 3.2        | 15.1          | 82          | 6.7        | 1          |
| E  | 优 3  | 84.1       | 75.0       | 72.9        | 5.0        | 1.7         | 4           | 0.9        | 15.8          | 80          | 6.7        | 1          |

3 小结与讨论

育苗是水稻生产中重要的环节之一，秧苗移栽后返青、分蘖以及产量均由秧苗素质的优劣决定<sup>[18]</sup>。研究人员前期已经对营养土和育苗基质育苗做了大量且深入的研究<sup>[19-21]</sup>，证实营养土虽具保

水保肥、适宜生长等优点，但取土困难、环境破坏、土传病害等问题日渐严峻。自来水污泥和食用菌菌渣配组制成的新型机插秧育苗基质，可以降低对耕地资源和土壤环境的破坏，实现废弃物的再利用，具有较大的社会经济潜力。

养分供给是稻谷形成的基础，唐志强等发现水

稻在离乳期已经开始吸收养分<sup>[22]</sup>,育苗基质养分的高低决定秧苗的生长状况。本试验 5 个处理的理化性质测定结果显示,育苗基质相较于细土均拥有更高的养分水平和孔隙结构,尤其以润江基质 1 号的孔隙结构较多,更加利于秧苗的生长。由于细土养分贫瘠,该处理下秧苗生长情况缓慢,地上部表现为株高矮小、茎基宽度小、鲜重低;地下部表现为根系较长,直径较小。不同育苗基质对水稻秧苗的生长影响亦不相同,在制备的 3 种新型机插秧育苗基质中,润江基质 3 号处理较细土处理叶龄减少 10.56%,地上部鲜重减少 14.75%,说明其不利于秧苗地上部的生长发育。润江基质 2 号的根长、根体积、地下部鲜重和干重均低于其他 4 个处理,此基质培育不利于秧苗根系的生长。润江基质 1 号处理根系粗壮,地上部鲜重较柴米河基质和细土处理下的鲜重分别提高了 33.32% 和 68.65%,说明该基质环境适宜根系生长,促进养分吸收,有助于基质育苗的壮秧形成。

叶绿素和可溶性糖与植物体内代谢息息相关。水稻叶片通过叶绿体产生的光合产物会以可溶性糖的形式运输至叶、根、种子等器官。同时,高叶绿素含量可以增加叶片有机物的积累,最终在灌浆期输入籽粒。叶片淀粉的过度积累则会干扰叶肉细胞叶绿体的正常发育,从而导致叶片的黄化<sup>[23]</sup>。本试验润江基质 1 号处理下叶绿素含量和可溶性蛋白含量高于其他处理,可溶性糖、淀粉和总糖含量均处于较低水平,充分说明在该生长条件下秧苗光合作用强,长势好,代谢快,糖分运输高效,整体素质好,验证了润江基质 1 号最适宜水稻秧苗的生长。

有研究表明,前期秧苗素质的高低会影响最终水稻产量的形成<sup>[2-3,24]</sup>。秧苗素质弱会导致机插质量差、缓苗长、活颖慢、分蘖迟,造成有效穗数减少,产量降低<sup>[25]</sup>。本研究不同育苗基质及细土处理下秧苗素质表现与后期水稻产量数据基本一致。润江基质 1 号处理下秧苗素质最好,产量显著高于其他 4 个处理。润江基质 2 号、3 号处理由于对秧苗地上部和地下部生长不同的影响,最终实际产量与柴米河基质处理下的水稻产量无显著差异,三者均高于细土处理。结果表明,有效穗数和每穗总粒数是造成不同处理下产量的差异的主要原因。虽然水稻的产量受秧苗素质的影响,但不同处理在稻米品质之间差异不显著。

本研究制备的新型机插秧育苗基质基本理化

性状和保水抗旱能力均能满足水稻的育秧需求,以自来水污泥:鹿茸菇渣:杏鲍菇渣:辅料=3:3:3:1 配组制成的润江基质 1 号生长环境最为适宜,加快了秧苗生长速度,缩短了生育进程和育秧时间,对水稻产量的贡献显著,可以在实践中应用推广。

#### 参考文献:

- [1] 白人朴. 关于水稻生产机械化技术路线选择的几个问题[J]. 中国农机化,2011(1):15-18,22.
- [2] 杜益涵,肖红娟,沙春阳,等. 打印秸秆基质盘播种对水稻秧苗素质、栽插质量及产量的影响[J]. 中国稻米,2023,29(2):81-84.
- [3] 黄年生,张小祥,蒋敏,等. 不同基质培肥方式对机插秧苗期生理及产量的影响[J]. 中国农学通报,2016,32(24):43-48.
- [4] 邢子金. 城镇污水处理厂污泥资源化利用研究[J]. 城市建设理论(电子版),2019(19):8.
- [5] 刘建凤,吉春明,苏建坤,等. 利用草菇菌渣工厂化栽培双孢蘑菇的技术研究[J]. 中国食用菌,2016,35(6):23-27.
- [6] 韩明丽,黄奇. 利用菌渣和畜禽粪便堆制生产有机肥的试验[J]. 浙江农业科学,2021,62(3):621-622,631.
- [7] 李猛,李树和,胡金鑫,等. 菌渣与河沙不同配比对番茄栽培的影响[J]. 长江蔬菜,2014(2):49-52.
- [8] 阮琳,袁永钦,张俊涛,等. 自来水污泥堆肥化研究[J]. 环境工程学报,2010,4(7):1650-1654.
- [9] 郭世荣. 无土栽培学[M]. 北京:中国农业出版社,2003:423-424.
- [10] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3 版. 北京:中国农业出版社,2000.
- [11] 吉春明,张小祥,黄年生,等. 不同发酵剂菌渣基质对机插秧苗期生长的影响[J]. 浙江农业科学,2022,63(1):35-38,41.
- [12] 于林惠,丁艳锋,薛艳凤,等. 水稻机插秧田间育秧秧苗素质影响因素研究[J]. 农业工程学报,2006,22(3):73-78.
- [13] 王学奎. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 2 版. 北京:高等教育出版社,2006.
- [14] 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.
- [15] 蔡柏岩,葛菁萍,祖伟. 施磷水平对不同基因型大豆叶片及籽粒可溶性蛋白含量的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2007,13(6):1185-1188.
- [16] 赵海新. 碱胁迫对水稻叶绿素及叶片脯氨酸和可溶性糖含量的影响[J]. 作物杂志,2020(1):98-102.
- [17] 陈雅玲,包劲松. 水稻胚乳淀粉合成相关酶的结构、功能及其互作研究进展[J]. 中国水稻科学,2017,31(1):1-12.
- [18] 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.
- [19] 钟平,邵文奇,庄春,等. 草木灰育苗基质对水稻秧苗素质的调控效应[J]. 江苏农业科学,2013,41(12):57-59.
- [20] 宋鹏慧,方玉凤,王晓燕,等. 不同有机物料育秧基质对水稻秧

杨倩,林志杰,龙小富,等. 绿色合成银纳米颗粒对链格孢菌侵染烟草活性氧及抗氧化酶的影响[J]. 江苏农业科学,2025,53(2):101-106.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2025.02.014

# 绿色合成银纳米颗粒对链格孢菌侵染烟草活性氧及抗氧化酶的影响

杨倩,林志杰,龙小富,陈佳丽,胡鑫,何燕子,潘春阳,彭丽娟,彭剑涛  
(贵州大学烟草学院/贵州省烟草品质研究重点实验室,贵州贵阳 550025)

**摘要:**烟草赤星病是烟草重要的叶斑病害,绿色合成纳米颗粒具有良好的抗菌活性,以及提高植物抗病性。因此,本研究探索绿色合成银纳米颗粒(AgNP)对链格孢菌(*Alternaria alternata*)侵染烟草的作用机制,为防治烟草赤星病提供参考。以烟草花朵提取液绿色合成 AgNP、链格孢菌和易感烟草赤星病的 NC82 为试验材料,测定烟草花朵提取液绿色合成的 AgNP 处理后接种链格孢菌的烟叶光合色素含量、活性氧含量和抗氧化酶活性,以及绿色合成的 AgNP 处理后烟草种子的发芽率。结果表明,90  $\mu\text{g/mL}$  AgNP 处理后接种链格孢菌的烟草叶片叶绿素和类胡萝卜素含量分别比对照高 43.21% ( $P < 0.05$ ) 和 44.28% ( $P < 0.05$ ),  $\text{O}_2^-$  含量与对照差异不显著,  $\text{H}_2\text{O}_2$  含量比对照低 38.21% ( $P < 0.05$ ), SOD 活性与对照差异不显著, CAT 和 POD 活性分别比对照高 110.14% ( $P < 0.05$ ) 和 15.68% ( $P < 0.05$ ), PAL 活性比对照低 17.93% ( $P < 0.05$ )。90  $\mu\text{g/mL}$  AgNP 处理的烟草种子发芽率为 79.67%,与对照发芽率差异不显著。综上所述,烟草花朵提取液绿色合成 AgNP 提高了叶片光合色素水平,主要通过增加 CAT 和 POD 活性来清除  $\text{H}_2\text{O}_2$ ,维持烟草叶片的活性氧稳态,减轻链格孢菌侵染对烟草叶片的伤害程度。同时,发芽试验结果表明,AgNP 对烟草没有毒性,具备作为抗真菌剂在烟叶生产中推广使用的潜力。

**关键词:**银纳米颗粒;链格孢菌;烟草;活性氧;抗氧化酶

**中图分类号:**S435.72 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2025)02-0101-06

链格孢菌(*Alternaria alternata* Keissler)为烟草赤星病的病原真菌,主要通过气流和雨水传播,在烟叶上形成黄褐色病斑,侵染后期导致烟叶焦枯坏死,严重影响烟叶产量和质量,造成严重经济损失<sup>[1-2]</sup>。目前烟草赤星病主要采用化学防治,传统化学农药长期使用会引起农药超标、抗药性等问

题,严重影响烟叶质量安全及农业生态安全<sup>[1,3-4]</sup>。

纳米颗粒的绿色合成被认为是一种无害的纳米颗粒合成方法,与物理和化学方法相比,具有简便、环保、可再生和生物相容性等优点。绿色合成金属基纳米颗粒已被发现具有抗菌活性,可用于由细菌和真菌病原体引起的植物病害防控<sup>[4-5]</sup>。向顺雨等研究发现,绿色合成银纳米颗粒(AgNP)在 1.0  $\mu\text{g/mL}$  时对烟草赤星病菌菌丝生长抑制率为 83.9%,AgNP 处理的菌丝鲜重与菌丝干重显著低于对照。并且,AgNP 在较低浓度时能够抑制赤星病菌侵染植株,在较高浓度时能够完全保护植株不受侵染<sup>[6]</sup>。苦楝绿色合成 AgNP,与对照相比,20、40、60  $\text{mg/kg}$  的 AgNP 对茄子黄萎病病原(*Verticillium dahliae*)菌丝生长抑制率分别为 18%、

收稿日期:2023-12-25

基金项目:贵州省自然科学基金[编号:黔科合基础(2020)1Y064];  
贵州省大学生创新创业训练计划[编号:贵大(省)创字(2022)116号]。

作者简介:杨倩(1999—),女,贵州镇远人,硕士研究生,从事纳米材料防控作物病害研究。E-mail:540969020@qq.com。

通信作者:彭剑涛,博士,副教授,主要从事植物抗性生理研究。  
E-mail:jt\_peng@126.com。

苗生长及养分积累的影响[J]. 中国土壤与肥料,2015(2):98-102.

[21]郑丹,王轶,赵春霞,等. 利用高温发酵菌糠研制水稻育秧基质[J]. 中国农业大学学报,2016,21(10):23-29.

[22]唐志强,张丽颖,何娜,等. 不同基质对水稻秧苗素质及营养吸收的影响[J]. 西南农业学报,2021,34(6):1242-1248.

[23]Zhu M D, Chen X L, Zhu X Y, et al. Identification and gene

mapping of the starch accumulation and premature leaf senescence mutant *ossac4* in rice[J]. Journal of Integrative Agriculture, 2020, 19(9):2150-2164.

[24]辛琳琳. 不同育苗基质对水稻秧苗素质及产量的影响[J]. 中国农技推广, 2023, 39(1):37-38, 40.

[25]安之冬,管浩,朱远范,等. 育秧基质配施腐植酸对水稻秧苗素质及产量的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2022(6):173-181.